

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

CAROLINA APARECIDA ANTUNES AMADEU

**Produção de farinhas compostas à base de farinha de trigo com subprodutos da indústria de extração de óleo de Cártamo (*Carthamus tinctorius*) e Girassol (*Helianthus annuus*) a partir do processo de extrusão e mistura convencional**

---

Pirassununga

2023

CAROLINA APARECIDA ANTUNES AMADEU

**Produção de farinhas compostas a base de farinha de trigo com subprodutos da indústria de extração de óleo de Cártamo (*Carthamus tinctorius*) e Girassol (*Helianthus annuus*) a partir do processo de extrusão e mistura convencional**

**VERSÃO CORRIGIDA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo para obtenção de título de Doutora em Ciências.

Área de concentração: Ciências da Engenharia de Alimentos

Orientadora Fernanda Maria Vanin

Coorientadora Silvia Maria Martelli

---

Pirassununga

2023

Ficha catalográfica elaborada pelo  
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A481p Amadeu, Carolina Aparecida Antunes  
Produção de farinhas compostas a base de farinha  
de trigo com subprodutos da indústria de extração de  
óleo de Cártamo (*Carthamus tinctorius*) e Girasso /  
Carolina Aparecida Antunes Amadeu ; orientador  
Fernanda Maria Vanin ; coorientador Silvia Maria  
Martelli. -- Pirassununga, 2023.  
148 f.

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Alimentos) -- Faculdade de Zootecnia  
e Engenharia de Alimentos, Universidade de São  
Paulo.

1. farinhas. 2. Extrusão. 3. girassol. 4.  
carthamus. 5. alimento funcional. I. Vanin,  
Fernanda Maria, orient. II. Martelli, Silvia Maria,  
coorient. III. Título.

AMADEU, C. A. A. Produção de farinhas compostas a base de farinha de trigo com subprodutos da indústria de extração de óleo de Cártamo (*Carthamus tinctorius*) e Girassol (*Helianthus annuus*) a partir do processo de extrusão e mistura convencional. Tese (obtenção do título de doutorado em ciências) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, São Paulo, 2023.

Avaliado em: 13 de novembro de 2023

#### Banca Examinadora

Professora Doutora Fernanda Maria Vanin  
Engenharia de alimentos, FZEA, USP.

Professora Doutora Rosemary Aparecida de Carvalho  
Engenharia de alimentos, FZEA, USP.

Professora Doutora Ana Carolina Conti  
Engenharia e tecnologia de alimentos, IBILCE, UNESP.

Professora Doutora Cristiana Maria Pedroso Yoshida  
Engenharia química e de alimentos, ICAQF, UNIFESP.

Professora Doutora Anna Cecília Venturini  
Farmácia, ICAQF, UNIFESP.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus pelas bênçãos derramadas sobre mim e pela oportunidade de concluir mais esse passo da minha vida, a Nossa Senhora pelas vezes em que o desespero chegava, mas ela me dava forças para continuar e ao meu Anjo por estar sempre comigo me protegendo de acidentes inesperados.

Agradeço a minha família, pois sem eles eu não seria quem eu sou hoje, por estarem sempre comigo me aguentando nos meus momentos de descontrole e por tentarem sempre me fazer acreditar que posso mais do que acredito.

Um enorme obrigada a minha orientadora, Fernanda, por todo o conhecimento que me foi passado, por estar sempre disposta a me ouvir, tirar minhas dúvidas e por ser tão compreensiva e amável nos momentos em que as coisas não iam tão bem.

Agradeço a Universidade de São Paulo e ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos à oportunidade que me foi dada de desenvolver esta pesquisa e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001 pela bolsa cedida a mim por um breve período.

Obrigada a professora Ana Carolina Conti e a UNESP por toda ajuda com a extrusora, sem essa etapa essa pesquisa não teria saído, e também a Giovana Rodrigues que me ajudou várias vezes durante esses quase 4 anos.

Agradeço as pessoas que de forma indireta me ajudaram a sorrir e seguir em frente, obrigada por sempre acreditarem em mim e me apoiar até nos meus sonhos mais loucos.

A todas essas pessoas e as demais que de alguma forma me ajudaram, mas que por ventura eu tenha me esquecido, meus mais sinceros agradecimentos.

## **RESUMO**

Farinhas compostas podem ser definidas como a mistura de uma ou mais farinhas, em que o principal objetivo da elaboração deste produto é melhorar o valor nutricional de produtos alimentícios. As tortas de cártamo e o girassol, oriundas da indústria de extração de óleo, apesar de serem nutricionalmente ricas, são pouco exploradas. Apesar de o desenvolvimento de farinhas compostas já ser uma prática bastante explorada, a mistura de farinhas utilizando a técnica de extrusão ainda é incipiente. A metodologia de extrusão permite a completa homogeneização, entre a farinha de trigo e os subprodutos, entre outros aspectos. Diante do exposto, o objetivo deste projeto foi produzir uma farinha de trigo composta com subprodutos da extração dos óleos de cártamo e girassol, a fim de melhorar seu aspecto nutricional, caracterizar os materiais produzidos e avaliar a metodologia de extrusão como técnica de mistura. As farinhas compostas obtidas pelo método de mistura convencional apresentaram maior concentração de proteínas, minerais, compostos fenólicos, flavonoides, capacidade de emulsão e menor absorção de óleos, sendo sua aplicabilidade apropriada para molhos quentes a base de farinhas, molhos para saladas, sobremesas congeladas, cookies e produtos para fritura. Enquanto que o uso do processo de extrusão na produção das farinhas compostas teve como benefício uma melhor homogeneização, a redução da umidade, dos lipídios e das micotoxinas, aumento da atividade antioxidante do o índice de absorção de água em e aumento do índice de absorção de óleos, sendo sua aplicação propícia para produtos de panificação, embutidos cárneos e lácteos. O consumo de produtos produzidos com as farinhas compostas aqui desenvolvida e analisadas pode representar uma importante estratégia nutricional com baixo custo de produção, além de uma solução sustentável ao fazer uso de produtos que seriam subutilizados.

**Palavras-chave:** blend de farinhas, farinha mista, melhoramento nutricional, alimento funcional.

## **ABSTRACT**

Composite flours can be defined as a mixture of one or more flours, in which the main objective of this product elaboration is to improve the food products nutritional value. Safflower and sunflower meals, from the oil extraction industry, despite having a high concentration of proteins, fibers, minerals, antioxidant compounds, among others, aren't properly explored. In this way, the reuse of these by-products is an opportunity for the development of new products that can also contribute to the reduction of food waste. Although the development of composite flours is already a well-explored practice, the mixing of flours using the extrusion technique is still incipient. The extrusion methodology allows complete homogenization between wheat flour and the by-products, among other aspects. In view of the above, the objective of this study was produce a composite flour wheat-based with by-products from the extraction of safflower or sunflower oils, characterize the materials produced and evaluate the extrusion methodology as a mixing technique. The composite flours produced showed a rich centesimal composition with high concentrations of proteins, fibers, minerals, phenolic compounds and antioxidant activity. The extrusion methodology resulted in positive and negative effects, and its application depends on the purpose of using the composite flour. The consumption of products produced with the composite flour developed and analyzed here may represent an important nutritional strategy with low production costs and a sustainable solution when using products that would otherwise be underused.

Keywords: flour blend, mixed flour, nutritional improvement, functional food.

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Flor de cártamo (A); corante cartamina em pó (B) e semente de cártamo (C). .....	24
<b>Figura 2.</b> Flor do girassol (A) e semente de girassol (B). .....	25
<b>Figura 3.</b> Informação nutricional da farinha de trigo Rosa Branca®. ....	27
<b>Figura 4.</b> Tortas de Cártamo (TC) e de Girassol (TG) .....	28
<b>Figura 5.</b> Extrusora de rosca única.....	35
<b>Figura 6.</b> Produto e cor correspondente da farinha de trigo (FT), torta de girassol (TG) e de cártamo (TC). .....	43
<b>Figura 7.</b> Difratogramas de raios-x da farinha de trigo (FT) e das tortas de cártamo (TC) e de girassol (TG). ....	52
<b>Figura 8.</b> Espectros de FTIR (A) das tortas de cártamo (TC) e girassol (TG) e (B) da farinha de trigo (FT). .....	54
<b>Figura 9.</b> Microscopia eletrônica de varredura (MEV) x500 da farinha de trigo (A) e das tortas de cártamo (B) e de girassol (C). ....	56
<b>Figura 10.</b> Imagens dos produtos extrusados de farinha de trigo e torta de cártamo nas concentrações de 80:20 (EC20) e 70:30 (EC30) e de farinha de trigo e torta de girassol nas concentrações de 80:20 (EG20) e 70:30 (EG30). ....	57
<b>Figura 11.</b> Razão de expansão dos produtos obtidos a partir da extrusão das farinhas compostas com diferentes concentrações de tora de cártamo e girassol. ....	58
<b>Figura 12.</b> Densidade dos extrusados (g/cm <sup>3</sup> ) obtidos a partir da extrusão das farinhas compostas com diferentes concentrações de tora de cártamo e girassol.. ....	60
<b>Figura 13.</b> Comparação visual das farinhas compostas extrusadas e misturadas. ....	62
<b>Figura 14.</b> Extrusora expelindo lipídios ao extrusar a formulação com torta de girassol.....	66
<b>Figura 15.</b> Produto e cor correspondente das farinhas compostas desenvolvidas com 20% de torta de cártamo extrusada (FC20E) e misturada (FC20M), 30% de torta de cártamo extrusada (FC30E) e misturada (FC30M), 20% de torta de girassol extrusada (FG20E) e misturada (FG20M) e 30% de torta de girassol extrusada (FG30E) e misturada (FG30M). ....	72
<b>Figura 16.</b> Difratogramas de raios x das farinhas compostas desenvolvidas com 20% de torta de cártamo extrusada (FC20E) e misturada (FC20M), 30% de torta de cártamo extrusada (FC30E) e misturada (FC30M), 20% de torta de girassol extrusada (FG20E) e misturada (FG20M) e 30% de torta de girassol extrusada (FG30E) e misturada (FG30M). ....	84
<b>Figura 17.</b> Espectros de FTIR farinhas compostas desenvolvidas com 20% de torta de cártamo extrusada (FC20E) e misturada (FC20M), 30% de torta de cártamo extrusada (FC30E) e misturada (FC30M), 20% de torta de girassol extrusada (FG20E) e misturada (FG20M) e 30% de torta de girassol extrusada (FG30E) e misturada (FG30M). .....	86
<b>Figura 18.</b> Microscopia eletrônica de varredura (MEV) das farinhas compostas desenvolvidas com 20% de torta de cártamo extrusada (FC20E) e misturada (FC20M), 30% de torta de cártamo extrusada (FC30E) e misturada (FC30M), 20% de torta de girassol extrusada (FG20E) e misturada (FG20M) e 30% de torta de girassol extrusada (FG30E) e misturada (FG30M). ....	89
<b>Figura 20.</b> Densidade da farinha de trigo e das farinhas compostas desenvolvidas com 20% de torta de cártamo extrusada (FC20E) e misturada (FC20M), 30% de torta de cártamo extrusada (FC30E) e misturada (FC30M), 20% de torta de girassol extrusada (FG20E) e misturada (FG20M) e 30% de torta de girassol extrusada (FG30E) e misturada (FG30M). ....	99



## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Síntese de pesquisas sobre a elaboração de farinha composta (FC) e inserção desta em produtos alimentícios.....	15
<b>Tabela 2.</b> Parâmetros de extrusão aplicados em diferentes matérias primas.....	18
<b>Tabela 3.</b> Concentrações de farinha de trigo, torta de cártamo, torta de girassol e método de mistura utilizado na produção das farinhas compostas. ....	34
<b>Tabela 4.</b> Composição centesimal (em base seca) das tortas de cártamo (TC) e girassol (TG) e da farinha de trigo (FT) comercial. ....	39
<b>Tabela 5.</b> Conteúdo de minerais da Farinha de Trigo (FT) Torta de Girassol (TG) e Torta de Cártamo (TC), em base seca. ....	41
<b>Tabela 6.</b> Cor (L – luminosidade, a* e b* - saturação), atividade de água (Aw) e pH da farinha de trigo (FT), torta de cártamo (TC) e torta de girassol (TG). ....	42
<b>Tabela 7.</b> Compostos fenólicos em equivalentes de ácido gálico por g de farinha (mg EAG g-1) e flavonoides em equivalentes de quercitina por g de farinha (mg EQ g-1) das tortas de cártamo e girassol e da farinha de trigo comercial, em base seca.....	45
<b>Tabela 8.</b> Atividade antioxidante das tortas de cártamo (TC) e torta de girassol (TG) e da farinha de trigo (FT).....	47
<b>Tabela 9.</b> Contaminação por micotoxinas (aflatoxinas (AFB1, AFB2, AFG1 e AFG2), desoxinivalenol (DON), fumonisinas (FB1 e FB2), tricotecenos (T2 e HT2), ocratoxina A (OTA) e zearalenona (ZEA)) na farinha de trigo (FT), torta de cártamo (TC) e torta de girassol (TG).....	49
<b>Tabela 10.</b> Valores de temperaturas de picos obtidos a partir das análises de calorimetria exploratória diferencial para as tortas e farinha de trigo. ....	50
<b>Tabela 11.</b> Composição centesimal (em base seca) e valor calórico das farinhas compostas com 20% de torta de cártamo extrusada (FC20E) e misturada (FC20M), 30% de torta de cártamo extrusada (FC30E) e misturada (FC30M), 20% de torta de girassol extrusada (FG20E) e misturada (FG20M) e 30% de torta de girassol extrusada (FG30E) e misturada (FG30M). ....	64
<b>Tabela 12.</b> Conteúdo de minerais das formulações de farinha composta desenvolvidas com 20% de torta de cártamo extrusada (FC20E) e misturada (FC20M), 30% de torta de cártamo extrusada (FC30E) e misturada (FC30M), 20% de torta de girassol extrusada (FG20E) e misturada (FG20M) e 30% de torta de girassol extrusada (FG30E) e misturada (FG30M). ....	69
<b>Tabela 13.</b> Parâmetro de cor das farinhas compostas desenvolvidas com 20% de torta de cártamo extrusada (FC20E) e misturada (FC20M), 30% de torta de cártamo extrusada (FC30E) e misturada (FC30M), 20% de torta de girassol extrusada (FG20E) e misturada (FG20M) e 30% de torta de girassol extrusada (FG30E) e misturada (FG30M), e a diferença de cor entre as farinhas compostas similares extrusadas e misturadas ( $\Delta E$ ). ....	71
<b>Tabela 14.</b> Atividade de água (Aw) e pH das farinhas compostas desenvolvidas com 20% de torta de cártamo extrusada (FC20E) e misturada (FC20M), 30% de torta de cártamo extrusada (FC30E) e misturada (FC30M), 20% de torta de girassol extrusada (FG20E) e misturada (FG20M) e 30% de torta de girassol extrusada (FG30E) e misturada (FG30M). ....	73
<b>Tabela 15.</b> Compostos fenólicos em equivalentes de ácido gálico por g de farinha (mg EAG g-1) e flavonoides em equivalentes de quercitina por g de farinha (mg EQ g-1) das farinhas compostas desenvolvidas com 20% de torta de cártamo extrusada (FC20E) e misturada (FC20M), 30% de torta de	

cártamo extrusada (FC30E) e misturada (FC30M), 20% de torta de girassol extrusada (FG20E) e misturada (FG20M) e 30% de torta de girassol extrusada (FG30E) e misturada (FG30M). ..... 75

**Tabela 16.** Atividade antioxidante das farinhas compostas desenvolvidas com 20% de torta de cártamo extrusada (FC20E) e misturada (FC20M), 30% de torta de cártamo extrusada (FC30E) e misturada (FC30M), 20% de torta de girassol extrusada (FG20E) e misturada (FG20M) e 30% de torta de girassol extrusada (FG30E) e misturada (FG30M), resultados expressos em base seca. .... 76

**Tabela 17.** Contaminação por micotoxinas (aflatoxinas (AFB1, AFB2, AFG1 e AFG2), desoxinivalenol (DON), fumonisinas (FB1 e FB2), tricotecenos (T2 e HT2), ocratoxina A (OTA) e zearalenona (ZEA)) nas farinhas compostas desenvolvidas com 20% de torta de cártamo extrusada (FC20E) e misturada (FC20M), 30% de torta de cártamo extrusada (FC30E) e misturada (FC30M), 20% de torta de girassol extrusada (FG20E) e misturada (FG20M) e 30% de torta de girassol extrusada (FG30E) e misturada (FG30M). ..... 79

**Tabela 18.** Curvas de calorimetria exploratória diferencial apresentadas pelas farinhas compostas desenvolvidas com 20% de torta de cártamo extrusada (FC20E) e misturada (FC20M), 30% de torta de cártamo extrusada (FC30E) e misturada (FC30M), 20% de torta de girassol extrusada (FG20E) e misturada (FG20M) e 30% de torta de girassol extrusada (FG30E) e misturada (FG30M). ..... 82

**Tabela 19.** Índices de absorção de água (IAA), solubilidade em água (ISA) e absorção de óleo (IAO) encontrado para farinha de trigo (FT) e das farinhas compostas desenvolvidas com 20% de torta de cártamo extrusada (FC20E) e misturada (FC20M), 30% de torta de cártamo extrusada (FC30E) e misturada (FC30M), 20% de torta de girassol extrusada (FG20E) e misturada (FG20M) e 30% de torta de girassol extrusada (FG30E) e misturada (FG30M). ..... 91

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABTS	radical 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)
Aw	Atividade de água
DPPH	Radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazil
DSC	Calorimetria exploratória diferencial
EAG	Equivalentes de ácido gálico
EC <sub>50</sub>	quantidade de à amostra necessária para reduzir em 50% a concentração inicial do radical DPPH
EQ	Equivalentes de quercitina
FC20E	Farinha composta com 20% de torta de cártamo obtida pelo método de extrusão
FC20M	Farinha composta com 20% de torta de cártamo obtida pelo método de mistura simples
FC30E	Farinha composta com 30% de torta de cártamo obtida pelo método de extrusão
FC30M	Farinha composta com 30% de torta de cártamo obtida pelo método de mistura simples
FG20E	Farinha composta com 20% de torta de girassol obtida pelo método de extrusão
FG20M	Farinha composta com 20% de torta de girassol obtida pelo método de mistura simples
FG30E	Farinha composta com 30% de torta de girassol obtida pelo método de extrusão
FG30M	Farinha composta com 30% de torta de girassol obtida pelo método de mistura simples
FRAP	Capacidade de redução de Ferro
FT	Farinha de trigo
FTIR	Espectroscopia de Infravermelhos por transformada de Fourier
IAA	Índice de absorção de água
IAO	Índice de absorção de óleo
IAS	Índice de solubilidade em água
ORAC	Capacidade de absorção de radicais de oxigênio
RPM	Rotações por minuto
TC	Torta de cártamo
TE	Equivalente de trolox
TG	Torta de girassol
TGA	Termogravimetria
$\Delta E$	Diferença de cor

Ca	Cálcio
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
S	Sódio
K	Potássio
P	Fósforo
Cu	Cobre
Zn	Zinco
Fe	Ferro
AFB1	Aflatoxina B1
AFB2	Aflatoxina B2
AFG1	Aflatoxina G1
AFG2	Aflatoxina G2
DON	Desoxinivalenol
FB1	Fumonisina B1
FB2	Fumonisina B2
T2	Tricoteno T2
HT2	Tricoteno HT2
OTA	Ocratoxina A
ZEN	Zearalenona

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	4
<b>2. OBJETIVOS</b>	11
2.1. <i>Objetivo geral</i>	11
2.2. <i>Objetivo específico</i>	11
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	13
3.1. <i>Farinha composta</i>	13
3.2. <i>Extrusão</i>	16
3.3. <i>Subprodutos da indústria alimentícia</i>	18
3.4. <i>Subprodutos da extração de óleos</i>	21
3.5. <i>Cártamo (Carthamus tinctorius L.)</i>	23
3.6. <i>Girassol (Helianthus annuus)</i>	25
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b>	27
4.1. <b>MATERIAIS</b>	27
4.2. <b>MÉTODOS</b>	28
4.2.1. <i>Caracterização das matérias primas</i>	28
4.2.2. <i>Farinha composta</i>	33
4.2.3. <i>Extrusão</i>	34
4.2.3.1. <i>Razão de expansão dos extrusados</i>	36
4.2.3.2. <i>Densidade dos extrusados</i>	36
4.2.4. <i>Caracterização das farinhas compostas</i>	36
4.2.5. <i>Análise Estatística</i>	38
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	38
5.1. <b>CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS PRIMAS</b>	38
5.1.1. <i>Composição centesimal e valor calórico</i>	38
5.1.2. <i>Minerais</i>	40
5.1.3. <i>Cor, pH e Atividade de água</i>	42
5.1.4. <i>Compostos fenólicos e Flavonoides</i>	44
5.1.5. <i>Atividade Antioxidante</i>	47
5.1.6. <i>Micotoxinas</i>	49
5.1.7. <i>Calorimetria exploratória diferencial (DSC)</i>	50
5.1.8. <i>Difração de raios-x</i>	52
5.1.9. <i>Espectroscopia de Infravermelhos por transformada de Fourier (FTIR)</i>	53
5.1.10. <i>Morfologia e tamanho de partícula</i>	55
5.2. <b>EXTRUSÃO</b>	57
5.3. <b>CARACTERIZAÇÃO DAS FARINHAS COMPOSTAS</b>	61
5.3.1. <i>Composição centesimal e valor calórico</i>	63
5.3.2. <i>Minerais</i>	68
5.3.3. <i>Cor</i>	70
5.3.4. <i>Atividade de água e pH</i>	73

5.3.5.	<i>Compostos fenólicos e flavonoides</i> .....	74
5.3.6.	<i>Atividade Antioxidante</i> .....	75
5.3.7.	<i>Micotoxinas</i> .....	78
5.3.8.	<i>Calorimetria exploratória diferencial (DSC)</i> .....	80
5.3.9.	<i>Difração de raios-x</i> .....	83
5.3.10.	<i>Espectroscopia de infravermelhos por transformada de Fourier (FTIR)</i> .....	85
5.3.11.	<i>Morfologia e tamanho de partícula</i> .....	87
5.3.12.	Índices de absorção (IAA) e solubilidade (ISA) em água e absorção de óleos (IAO) ..	89
5.3.13.	<i>Propriedades emulsificantes</i> .....	95
5.3.14.	<i>Densidade absoluta</i> .....	99
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	100
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	101

## 1. INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos, associados a busca por dietas saudáveis e balanceadas, e as mudanças na preferência dos consumidores quanto ao cuidado com o meio ambiente, têm feito com que as empresas, em especial as alimentícias, busquem pelo desenvolvimento de produtos mais “saudáveis” e que gerem menor impacto ao meio ambiente. Desse modo, as empresas vêm buscando utilizar dessas mudanças para incorporar um marketing positivo, e com isso ter vantagens competitivas e melhorar sua imagem perante o consumidor (BANYTÉ; BRAZIONIENÉ; GADEIKIENE, 2010; SIGNOR et al., 2017).

Um exemplo dentro deste contexto refere-se ao uso de subprodutos da indústria de alimentos na produção e desenvolvimento de novos produtos, como por exemplo, de farinhas compostas. Pode-se definir farinha composta como a mistura de uma ou mais farinhas de cereais ou farinha de cereal como base e a inserção de farinhas de legumes, raízes, nozes, tubérculos, compostos isolados, entre outros (DENDY, 1992; SEIBEL, 2006). O principal intuito da elaboração deste tipo de produto é a incorporação de valor nutricional à farinha e conseqüentemente a produtos comumente elaborados a partir dela, como massas e produtos de panificação.

A elaboração de farinha composta vem sendo produzida e avaliada por diversos estudos. Alguns estudos relatam que as farinhas compostas produzidas apresentaram aumento no conteúdo de proteína (AWOLU; OSEMEKE; IFESAN, 2016; BOLARINWA; MUHAMMAD, 2019; BORA; RAGAE; ABDEL-AAL, 2019; CHAKRABORTY et al., 2016; DAUDA et al., 2018; GUARDADO-FÉLIX et al., 2020; KAUR et al., 2019), de fibras (AWOLU; OSEMEKE; IFESAN, 2016; BOLARINWA; ARUNA; RAJI, 2019; BORA; RAGAE; ABDEL-AAL, 2019; CHAKRABORTY et al., 2016; DAS et al., 2019; UDOMKUN et al., 2019), de minerais (AWOLU; OSEMEKE; IFESAN, 2016; BOLARINWA; MUHAMMAD, 2019; GUARDADO-FÉLIX et al., 2020; UDOMKUN et al., 2019), diminuição no teor de carboidratos (BOLARINWA; MUHAMMAD, 2019; DAS et al., 2019; DAUDA et al., 2018; KAUR et al., 2019; UDOMKUN et al., 2019), inserção e/ou aumento de atividade antioxidante (AWOLU; OSEMEKE; IFESAN, 2016; BORA; RAGAE; ABDEL-AAL, 2019; CHAKRABORTY et al., 2016; GUARDADO-FÉLIX et al., 2020; PASQUALONE et al., 2019), diminuição de compostos antinutricionais (ADEBOWALE et al., 2017; IGBUA et al., 2020;

OLORUNFEMI; AWOLU; ENUJIUGHA, 2021), redução do índice glicêmico de produtos (GBENGA-FABUSIWA et al., 2018, 2019), entre outros.

As melhorias acima citadas são alcançadas com poucas alterações significativas nos produtos posteriormente desenvolvidos com as farinhas compostas, tais como pães (ALCÂNTARA et al., 2020; ALI et al., 2020; GUARDADO-FÉLIX et al., 2020), bolos (DAS et al., 2019; INDRIANI et al., 2020), cookies (CASTRO et al., 2020; KAUR; SINGH; KAUR, 2017), macarrões (CHAKRABORTY et al., 2016; DHULL; SANDHU, 2018), etc.

A farinha de trigo é o cereal mais empregado na alimentação humana a nível mundial quando comparada a outros cereais. Isto pode ser justificado devido à formação da rede de glúten durante o processo de mistura da massa, responsável pela formação de uma rede visco elástica que auxilia na retenção de gás carbônico proveniente da fermentação. Essa ação do glúten confere extensibilidade e consistência ao alimento, conferindo ao produto final a textura desejada pelo consumidor (AL-SAHLANY; AL-MUSAFER, 2020; TUHUMURY; SMALL; DAY, 2014).

O maior composto presente na farinha de trigo é o carboidrato, cerca de 75% (NEPA; UNICAMP, 2011). Por apresentar grandes quantidades de carboidratos de alto índice glicêmico, seu consumo, quando em grandes quantidades, é frequentemente associado ao desenvolvimento de doenças crônicas como dislipidemia, esteatose hepática, hipertensão, lesão hepática, doenças pró-inflamatórias, comprometimento cognitivo leve, dentre outras (LIU et al., 2019; MABERLY et al., 2008; PHILIPPI, 2015). Contudo, a farinha deste cereal apresenta também proteínas (9-15%), minerais (cálcio 1,32mg/kg, magnésio 2,60mg/kg, potássio 12,10mg/kg, fosforo 12,40mg/kg, ferro 0,50mg/kg, zinco 0,30mg/kg, entre outros) (AL-SAHLANY; AL-MUSAFER, 2020; MAKINDE; EYITAYO, 2019; PRABHASANKAR; HARIDAS RAO, 2001) sendo, portanto, a exclusão completa deste alimento não recomendada, com exceção para a população celíaca.

Uma maneira para reduzir a ingestão de farinha de trigo, de modo a garantir uma inserção moderada deste cereal, sem perder as características tecnológicas fornecidas devido ao glúten é a elaboração de uma farinha composta à base de trigo. Uma excelente fonte de nutrientes que pode ser incorporada à farinha de trigo para agregar valor nutricional, atualmente subutilizadas, são os subprodutos gerados no



processo de alimentos. Dentre estes subprodutos da indústria, pode-se destacar aqueles gerados pela extração de óleos, chamados também de tortas e/ou farelos (GIOIELLI, 1996).

Estes subprodutos apresentam conteúdo significativo de nutrientes como proteínas, fibras e aminoácidos e atualmente, com exceção do farelo de soja, não passam por processos de agregação de valor, sendo utilizados na produção de alimentos para animais (em maior quantidade o farelo de soja), na adubação orgânica e na geração de energia através da queima (ABDALLA et al., 2008). Desta forma torna-se relevante a investigação da inserção destes subprodutos à farinha de trigo, pois, além da diminuição da ingestão do trigo e da agregação de valor nutricional à farinha, a indústria produtora da farinha composta poderá apresentar uma vantagem competitiva em relação ao marketing (produto enriquecido nutricionalmente), a baixo custo, devido a utilização de produtos subutilizados (CEDOLA et al., 2020; VISSER et al., 2011).

Dentre as tortas e farelos provenientes da extração de óleos, as tortas de cártamo (*Carthamus tinctorius L.*) e de girassol (*Helianthus annuus*) mostram-se promissoras devido as suas respectivas composições e ampla disponibilidade. Ambas as cultivares pertencem a família das *Asteraceae*, com um ciclo de cultura que pode ser cultivada em sistema de safrinha, integração lavoura-pecuária e rotação de culturas, isto é, podem ser cultivadas o ano todo, gerando ampla produtividade. Apresentam, ainda, alta tolerância a estresse hídrico, variação de temperatura e ampla adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas, o que as tornam cultivares promitentes devido à sua resistência e capacidade de produção (EMBRAPA, 2008; EMONGOR, 2010; SARTO et al., 2018).

Em geral, a utilização das farinhas compostas em seus diferentes produtos tem sido feita de maneira simples, ou seja, através da mistura convencional das matérias-primas utilizadas, ou seja, mistura da farinha de trigo e demais farinhas que compõem a farinha composta. Por outro lado, uma metodologia que pode ser empregada para garantir completa homogeneização entre a farinha de trigo e os subprodutos é a extrusão termoplástica. O processo de extrusão utiliza uma combinação de alta temperatura, alta pressão e forças de cisalhamento severas que resultam em alterações e modificações químicas, incluindo gelatinização de amido, reticulação de

polímeros e reações de Maillard, e ainda em alguns casos a diminuição de fatores antinutricionais e toxinas, provenientes da contaminação por fungos (JANIĆ HAJNAL et al., 2016).

Assim sendo, o uso da extrusão na produção de farinhas compostas pode garantir uma melhor qualidade na incorporação dos diferentes produtos empregados e também assegurar a eliminação de possíveis fungos geradores de micotoxina que podem estar presentes nos subprodutos.

Desta forma, através do exposto, esta tese de doutorado teve como objetivo principal avaliar o efeito do uso do processo de extrusão na produção de farinhas compostas com subprodutos da indústria de extração de óleo de cártamo e girassol.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

O objetivo deste trabalho foi produzir uma farinha composta à base de trigo e subprodutos da extração dos óleos de cártamo ou girassol a fim de criar um novo produto com alto valor nutricional.

### **2.2. Objetivo específico**

- I. Realizar uma ampla revisão da literatura sobre a produção de farinha composta, visando identificar as principais matérias primas utilizadas em sua produção, efeitos nutricionais observados em função do grupo de matriz utilizada, principais produtos de aplicação, aspectos ainda não explorados e que necessitam ser melhor avaliados (anexo 1);
- II. Propor uma alternativa para transformar os subprodutos da indústria de óleos em coprodutos para geração de valor e redução de desperdício de alimentos;
- III. Produzir farinhas compostas à base de trigo com subprodutos da extração dos óleos de cártamo e girassol utilizando-se como técnica para mistura o processo de extrusão;
- IV. Produzir farinhas compostas à base de trigo com subprodutos da extração dos óleos de cártamo e girassol utilizando-se como técnica para mistura o processo de mistura convencional;

- V. Caracterizar as farinhas em relação as suas propriedades químicas, físicas, técnico-funcionais, microestrutura e térmica a fim de verificar os efeitos dos processos de mistura nas farinhas desenvolvidas;
- VI. Comparar os métodos de misturas utilizados e sugerir aplicações de acordo com as propriedades apresentadas.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Farinha composta**

A Portaria da ANVISA n.º 996 de 12 de novembro de 1994, define como farinha composta o resultado da mistura de dois ou mais tipos de farinha. Para um melhor entendimento, pode-se definir farinha composta como a mistura ou substituição parcial entre uma farinha de cereal com uma ou mais farinhas, seja ela de cereais, leguminosas, raízes, nozes, tubérculos, frutas, entre outros.

De acordo com Dendy (1992), as primeiras pesquisas relatando farinhas compostas são datadas por volta de 1960. No princípio, quando este tema começou a ser estudado, esta terminologia era utilizada apenas para uma mistura de farinha de trigo com outra farinha, e por não ter uma definição científica, outros nomes também eram encontrados como 'farinha mista' ou 'farinha funcional' (DENDY, 1992; SEIBEL, 2006). Tal terminologia era empregada principalmente em locais onde a farinha de trigo era escassa e sua importação difícil ou dispendiosa (DENDY, 1992),

Em alguns casos, observa-se que era também incorretamente categorizada como 'farinha enriquecida' ou 'farinha fortificada', sendo estes dois últimos termos utilizados para definir a mistura de uma farinha com um composto isolado. Atualmente, o termo farinha composta é o mais comum, no entanto, mesmo que em minoria, ainda há pesquisadores que optam por utilizar outras terminologias (DENDY, 1992, 1993; SEIBEL, 2006).

O principal objetivo no uso desta estratégia é o aumento do valor nutricional da farinha e conseqüentemente nos produtos elaborados, em relação a minerais, vitaminas, fibras e proteínas quando comparadas a farinha de um único cereal. Além destes aspectos, a formulação de farinha composta também traz vantagens como: maior utilização de espécies vegetais nativas, maior lucro para empresas locais (ao utilizar culturas locais), diminuição da importação do trigo para algumas regiões e maior aproveitamento da produção (ao utilizar subprodutos) (BUGUSU; CAMPANELLA; HAMAKER, 2001; HASMADI et al., 2020; MAMAT et al., 2018).

O aumento do valor nutricional proporcionado pela elaboração de farinha composta é capaz de fornecer uma dieta balanceada, rica em proteínas, fibras e minerais (Tabela 1). Por exemplo, Tumwine e colaboradores (2019) desenvolveram uma farinha composta a base de milho (65%) com cenoura (5%), semente de abóbora

(5%), leite em pó desnatado (20%) e folhas de feijão-fradinho em pó (5%). O mingau produzido com a farinha composta foi capaz de contribuir com 102,0% de zinco, 158,9% de cobre, 142,4% de vitamina A, 35,8% de ferro e 95,4% de cálcio da ingestão diária recomendada para crianças de 6 a 12 meses (TUMWINE et al., 2019).

A palatabilidade dos produtos desenvolvidos com farinha composta também tem resultados satisfatórios, apresentando notas acima de 7 em uma escala de 9 pontos para pães (ASSIS et al., 2019; GUARDADO-FÉLIX et al., 2020), bolos (DAS et al., 2019; INDRIANI et al., 2020), cookies (CASTRO et al., 2020; KAUR; SINGH; KAUR, 2017; KAUR et al., 2019) e macarrões (CHAKRABORTY et al., 2016) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Síntese de pesquisas sobre a elaboração de farinha composta (FC) e inserção desta em produtos alimentícios.

Farinha composta	Produto elaborado a partir da FC	Alterações no conteúdo de Proteína, fibra e Carboidrato, respectivamente (g / 100g FC)	Aceitabilidade sensorial	Autores
Farinhas de trigo e de semente de pera espinhosa torrada (96:4)	Pão	+0.05, +0.57, -1.38	7.8 de 9.0	(ALI et al., 2020)
Farinhas de trigo, milho (20-40%) e banana verde (10-20%)	Pão	*	entre 5.0 e 7.0 de 9.0	(ALCÂNTARA et al., 2020)
Farinha de trigo e farinhas de grão de bico inteiras, germinadas ou germinadas com selênio (SG) (85:15)	Pão	+1.25 (SG); *, *	± 7.0 de 9.0	(GUARDADO-FÉLIX et al., 2020)
Farinhas de trigo e de caroço de manga (80:20)	Bolo	-0.23; +0.07; -6.25	7.7 de 9.0	(DAS et al., 2019)
Farinha de arroz integral e pó de alfarroba de Bombaim (80:20)	Bolo	+19.64; +1.98; -20.79	±7.1 de 9.0	(INDRIANI et al., 2020)
Farinhas de trigo e de alga (96:4)	Muffin	+0.17; +0.13; -1.36	4.5 de 7.0	(MAMAT et al., 2018)
Farinhas de semente de borracha e de mandioca (50:50)	Muffin	*	5.1 de 7.0	(HIDAYAH et al., 2019)
Farinha de trigo e subproduto de suco de laranja (90:10)	Cookie	*	7.7 de 9.0	(CASTRO et al., 2020)
Farinhas de trigo e de linhaça (85:15)	Cookie	+1.44, +0.55; *	7.7 de 9.0	(KAUR; SINGH; KAUR, 2017)
Farinhas de trigo e de linhaça torrada (70:30)	Cookie	+5.05; +2.10; -26.56	±7.0 de 9.0	(KAUR et al., 2019)
Farinha de trigo e de ervilha (25:75)	Biscoito	+1.88; +0.85; -7.22	5.4 de 7.0	(GBENGA-FABUSIWA et al., 2019)
Farinha de trigo e de sementes de alfafa (90:10)	Biscoito	+2.94; +0.63; *	7.19 de 9.0	(ULLAH et al., 2016)
Farinha de trigo e mistura de folhas (caril, coentros e folhas de feno-grego) (100:3)	Macarrão	+0.82; +0.45; +1.36	±8.0 de 9.0	(CHAKRABORTY et al., 2016)
Farinhas de trigo e de batata doce (60:40)	Macarrão	-5.7; *, *	*	(GINTING; YULIFIANTI, 2015)
Farinha de trigo e feno-grego (93:7)	Macarrão	*	± 10 de 15	(DHULL; SANDHU, 2018)

\* Análises não realizadas e/ou publicadas;

Fonte: Elaboração própria

De acordo com o exposto, a elaboração e utilização de farinhas compostas mostra-se vantajosa e viável, até mesmo em regiões onde se tem trigo em abundância.

### **3.2. Extrusão**

A extrusão é uma tecnologia versátil de cozimento de curta duração e, no geral, umidade relativamente baixa nos produtos após a extrusão. Este tratamento pode ser caracterizado como “limpo” pois faz uso de energia térmica e mecânica (forças de cisalhamento) para produzir mudanças estruturais no produto extrusado, ou seja, não faz uso de agentes químicos ou ingredientes artificiais como melhoradores e antimicrobianos (LEONARD et al., 2020; SINGHA; MUTHUKUMARAPPAN; KRISHNAN, 2018; YE et al., 2018).

A grandeza dessas mudanças estruturais é dependente das condições do processamento, tais como o teor de umidade do produto, a temperatura ao longo do canhão, a velocidade de alimentação e de rosca, dentre outras (HAGENIMANA; DING; FANG, 2006; MARTÍNEZ et al., 2014). A partir da extrusão a farinha apresenta novas propriedades funcionais devido às alterações produzidas em seus constituintes, sobretudo a gelatinização do amido e a desnaturação das proteínas com consequente realinhamento ao final e à saída da máquina. Essas novas propriedades funcionais fazem com que as farinhas extrusadas apresentem potencial para aplicações variadas nas indústrias de alimentos, como por exemplo a redução de endurecimento em pães e sinérese em cremes a partir da extensão da gelificação do amido (LING; CHOU, 1996; ROMAN et al., 2018) e redução de gordura, além de melhoramento em propriedades reológicas devido às propriedades aprimoradas de espessamento e estabilização (BERENTI et al., 2021; ROMAN et al., 2018).

Como resultado da extrusão há também a desnaturação de enzimas indesejáveis e inativação de alguns fatores antinutricionais, tais como a saponina, lipoxigenase, hemaglutina e uréase, dependendo da matéria-prima utilizada (SINGHA; MUTHUKUMARAPPAN, 2018). Estes fatores afetam a absorção e uso

total de nutrientes, sem perder a cor e sabor originais do alimento (SINGHA; MUTHUKUMARAPPAN, 2018).

Em farinhas compostas a extrusão já tem sido estudada. Em geral, as propriedades das farinhas extrusadas dependem das condições de extrusão. Fleischman e colaboradores (2016), ao extrusar farinha de trigo com variedades de farelo de trigo verificaram que a extrusão acarretou na diminuição da atividade antioxidante. Fischer (2004) ao extrusar a farinha de trigo, verificou que houve forte ligação cruzada de proteínas, devido à formação de ligações dissulfeto intermoleculares durante a extrusão.

A extrusão em farinha de arroz tem como resultado alterações nas características de hidratação, térmica e de pasta, aumento no tamanho de partícula, além de suscetibilidade à hidrólise enzimática (HAGENIMANA; DING; FANG, 2006; MARTÍNEZ et al., 2014). A extrusão da farinha de arroz resultou no aumento de amido danificado e teor de açúcares livres, contribuindo para a ocorrência da reação de Maillard, afetando a luminosidade das farinhas (MARTÍNEZ et al., 2014). Chaiyakul et al (2009) constataram que o aumento da temperatura do canhão e a diminuição da umidade da alimentação durante a extrusão de farinha de arroz resultaram em aumento do nitrogênio não proteico e diminuição do teor de lisina disponível.

Variações nas condições de extrusão são capazes de afetar as características de um mesmo tipo de farinha. Por exemplo, Hangenimana, Ding e Fang (2006) notaram uma diminuição na viscosidade de farinha de arroz extrusada (60°C e 70°C nas zonas de alimentação e compressão, e temperaturas do canhão à 100, 130 ou 160°C e umidade de 16, 19 e 22%), enquanto Martinez e colaboradores (2014) notaram um aumento na viscosidade da farinha de arroz (temperatura do barril de 110°C e teor de umidade de 17% e 30%).

Desta forma, a aplicação da metodologia de extrusão em farinha composta pode trazer benefícios (como a inativação de compostos indesejáveis) ou desvantagens (como a perda de compostos antioxidantes) e, por isso, deve ser investigada a fim de avaliar as alterações resultantes na farinha composta. Além disso, observa-se que poucos trabalhos avaliaram o uso da extrusão na produção



de farinhas compostas à base de trigo em extrusoras de rosca única. Um resumo de pesquisas encontradas na literatura pode ser visto na Tabela 2.

**Tabela 2.** Parâmetros de extrusão aplicados em diferentes matérias primas.

Rosca	Farinha	Umidade (% em base úmida)	Taxa de alimentação (kg/h)	Velocidade rosca (rpm)	Temperaturas (°C)	Referência
Única	Trigo	20-24*	5,4	180	50, 80, 115 e 140	(FISCHER, 2004)
Única	Trigo	45 *	3,72	59	66, 93 e 79	(ARRAGE; BARBEAN; JOHNSON, 1992)
Única	Trigo e soja	16	manual	200	60, 160 e 165	(ZASYPKIN; LEE, 1998)
Dupla	Trigo e farelo	15	2,96	250	50, 100 e 140	(FLEISCHMAN et al., 2016)

\* sem informação em relação a base

Fonte: Elaboração própria

Como pode ser observado na Tabela 2, os parâmetros de extrusão variam para diferentes matérias primas e mesmo para alimentos iguais, como é o caso dos trabalhos de Fischer (2004) e Arrage, Barbean e Johnson (1992), os parâmetros também podem variar de acordo com o resultado almejado.

### 3.3. Subprodutos da indústria alimentícia

De acordo com a FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2022), a cada ano cerca de um quarto dos alimentos produzidos para consumo humano é desperdiçado, sendo que esta perda ocorre durante a cadeia produtiva – produção, transporte, armazenamento e comercialização, ou como resíduo de processamento. Isso equivale a cerca de 1,3 bilhão de toneladas, o que seria suficiente para alimentar aproximadamente 2 bilhões de pessoas (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2022).

Ainda segundo a FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2022), a América Latina e o Caribe são responsáveis por cerca de 6% das perdas de alimentos. Por ano, esta região desperdiça aproximadamente 15% alimentos disponíveis. No Brasil, a fome afeta a 14 milhões de pessoas, se o desperdício fosse diminuído pela metade seria suficiente para reduzir a fome em níveis inferiores de 5% (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2022).

Desta forma, a reutilização de subprodutos das indústrias alimentícias não é só uma necessidade, mas também uma oportunidade para o desenvolvimento de novos produtos com valor agregado, além de gerar um impacto na economia das indústrias, através da transformação de subprodutos em produtos de valor.

Os resíduos que surgem durante o preparo de alimentos, que por alguma razão tecnológica não integram o produto final, podem ser chamados de coprodutos, subprodutos ou rejeitos (FILHO; SILVA; SOUSA, 2017; PINTADO; TEIXEIRA, 2015). A distinção entre coprodutos e subprodutos é um desafio e frequentemente os termos são utilizados de forma cruzada. A maior diferença entre os dois é a renda gerada a empresa.

Os coprodutos são mercadorias secundárias desejadas, geram faturamento significativo para empresa e originam-se prontos ou parcialmente prontos durante o processo produtivo; como exemplo pode-se citar o creme de leite que é um coproduto da fabricação do leite desnatado (FILHO; SILVA; SOUSA, 2017; SÖDERHOLM; LUNDMARK, 2009).

Os subprodutos não apresentam importância significativa no faturamento, mas também não geram grandes despesas para destinação adequada, contudo, vale ressaltar que tais produtos possuem potencial e viabilidade para recaptura de compostos funcionais e potencialidade para o desenvolvimento de novos produtos com valor de mercado; as tortas previamente citadas na introdução são um bom exemplo deste tipo de resíduo (FILHO; SILVA; SOUSA, 2017; PINTADO; TEIXEIRA, 2015). Já os rejeitos são produtos que além de não gerarem renda ainda demandam dispêndios para serem destinados a disposição final ambientalmente adequada (FILHO; SILVA; SOUSA, 2017; PINTADO; TEIXEIRA, 2015).

A principal vantagem de transformar um subproduto em coproduto é aumentar o lucro, utilizando todo o potencial da matéria prima para converter o valor gasto em receita. Além disso, é exigido por lei que as empresas tratem e disponham os resíduos adequadamente a fim de diminuir os danos ao meio ambiente, entretanto, este descarte gera maiores gastos aos produtores e ao utilizar melhor a matéria prima a produção de resíduos é reduzida e conseqüentemente o gasto para o tratamento deles também (GUO et al., 2021)

Diversos subprodutos já vêm sendo aproveitados na produção de alimentos, ocasionando uma agregação de valor a estes. A indústria de produção de queijos, por exemplo, utiliza o soro lácteo, um subproduto na elaboração de queijos, na produção de bebidas fermentadas; o farelo de soja, um subproduto da extração do óleo de soja, é a principal matéria prima na produção de proteína de soja; etc.

Há, ainda, pesquisas avaliando diferentes subprodutos para a produção de novos alimentos. Alam, Pathania e Sharma (2016), Singha e Muthukumarappan (2018) e Nascimento e colaboradores (2012) desenvolveram snacks prontos para consumo com bagaço de cenoura e maçã (subprodutos da extração de suco), e torta de gergelim (subproduto da extração de óleo de gergelim), respectivamente. Ala, Pathania e Sharma (2016) observaram que o aumento do bagaço de cenoura nos snacks foi proporcional ao aumento do conteúdo de fibras e proteínas dos mesmos. Singha e Muthukumarappan (2018) perceberam que o aumento do teor de bagaço de maçã aumentou significativamente o teor de fenólicos totais e a atividade antioxidante dos extrudados. Nascimento e colaboradores (2012) constataram que a adição de torta de gergelim aumentou o teor de proteína, fibras, gordura, cinzas, cálcio e ferro dos extrudados de milho, e diminuiu o teor de carboidratos, em relação ao controle.

O uso de bagaço de maçã foi verificado também por Awolu, Osemeke e Ifesan (2016). Os pesquisadores aplicaram o bagaço da maçã em farinha composta à base de trigo, adicionando também semente de amaranto e bagaço de malte (subproduto da produção de cerveja). Tanto a adição do bagaço da maçã quanto do bagaço de malte resultou em boas propriedades antioxidantes, nutricionais, funcionais e reológicas na farinha composta desenvolvida.

Castro et al. (2020) analisaram a utilização do subproduto do suco de laranja, fazendo uma farinha e incorporando-a em cookies. O subproduto analisado apresentou alto teor de fibra alimentar (73,61% matéria seca), minerais (cinzas=2,72% matéria seca) e compostos fenólicos totais (534±30 mg de ácido gálico equivalente/100 g de matéria seca). Nos cookies, as propriedades físicas não foram significativamente influenciadas com a utilização da farinha com subproduto, em comparação aos com somente farinha de trigo. Sensorialmente, os cookies com 10% de subproduto foram mais bem aceitos que o controle.

Portanto, a busca pela utilização de subprodutos da indústria alimentícia como matéria-prima no desenvolvimento de produtos tem mostrado ser extremamente interessante e vantajosa na produção de alimentos.

### **3.4. Subprodutos da extração de óleos**

Para a extração industrial de óleos existem dois processos comumente utilizados. O primeiro, e mais eficiente para a extração de óleo, faz uso de solventes químicos (usualmente hexano) e elevadas temperaturas que geram como subproduto os farelos (Pereira et al., 2011). O segundo processo mais utilizado é a extração por meios mecânicos, a partir do uso de prensagem a frio, que geram como subproduto as tortas (Oliveira et al., 2007). A principal diferença entre esses subprodutos é o teor de extrato etéreo, onde as tortas apresentam uma maior concentração de óleo residual, quando comparadas aos farelos (Abdalla et al., 2008).

Com exceção de algumas oleaginosas como a soja, as potencialidades nutricionais e econômicas dos subprodutos da extração de óleos para alimentação humana ainda são pouco exploradas e por isso esses subprodutos quase não passam por processo de agregação de valor. Tais subprodutos são utilizados como matéria prima para ração de ruminantes, produção de energia térmica, mecânica e elétrica, e em pequena escala, usado como composto orgânico para fertilizar o solo (ABDALLA et al., 2008; GENTIL et al., 2012; KRAHL et al., 2002).

Contudo, sua capacidade poderia ser mais bem explorada ao serem utilizados, por exemplo, para a produção de enzimas industriais, antibióticos,

biopesticidas e vitaminas (RAMACHANDRAN et al., 2007; SINGH NEE NIGAM; PANDEY, 2009) e na produção de bioetanol (CERVERÓ et al., 2010; H. VENKATESH KAMATH et al., 2018; VENKATESH; RAO, 2020).

Os subprodutos da extração de óleos poderiam ser empregues, também, na fabricação de produtos para a alimentação humana, por apresentarem elevados teores de proteínas, fibras e minerais. Por exemplo, o uso de subproduto da extração do óleo de gergelim (torta de gergelim) na elaboração de extrudados de milho levou a um aumento no conteúdo de proteínas e lisina, quando comparado a um extrudado de milho comercial (NASCIMENTO et al., 2012).

Outro exemplo é a aplicação de proteína isolada do subproduto da extração de óleo de semente de abobora (torta de abobora) na produção de cookies, esta apresentou êxito, resultando no aumento dos teores totais de fenólicos e betalaínas, e estabilidade durante o tempo de armazenamento (ČAKAREVIĆ et al., 2021). Além disso, a proteína isolada da torta da semente de abobora também foi utilizada como carreadores na encapsulação de suco de beterraba e evidenciaram boa digestibilidade aumentando as atividades antioxidantes, antidiabéticas e anti-hipertensivas significativamente (ČAKAREVIĆ et al., 2021).

Outro incentivo à utilização de subprodutos da extração de óleos (tortas ou farelos) é a maior aceitabilidade dos consumidores devido a melhora nutricional gerada pela inserção destes subprodutos aos alimentos. Nascimento et al. (2012) analisaram sensorialmente extrusados de milho com torta de gergelim e notaram que houve influência positiva na aceitabilidade dos extrusados após apresentar informações sobre os benefícios nutricionais das sementes de gergelim.

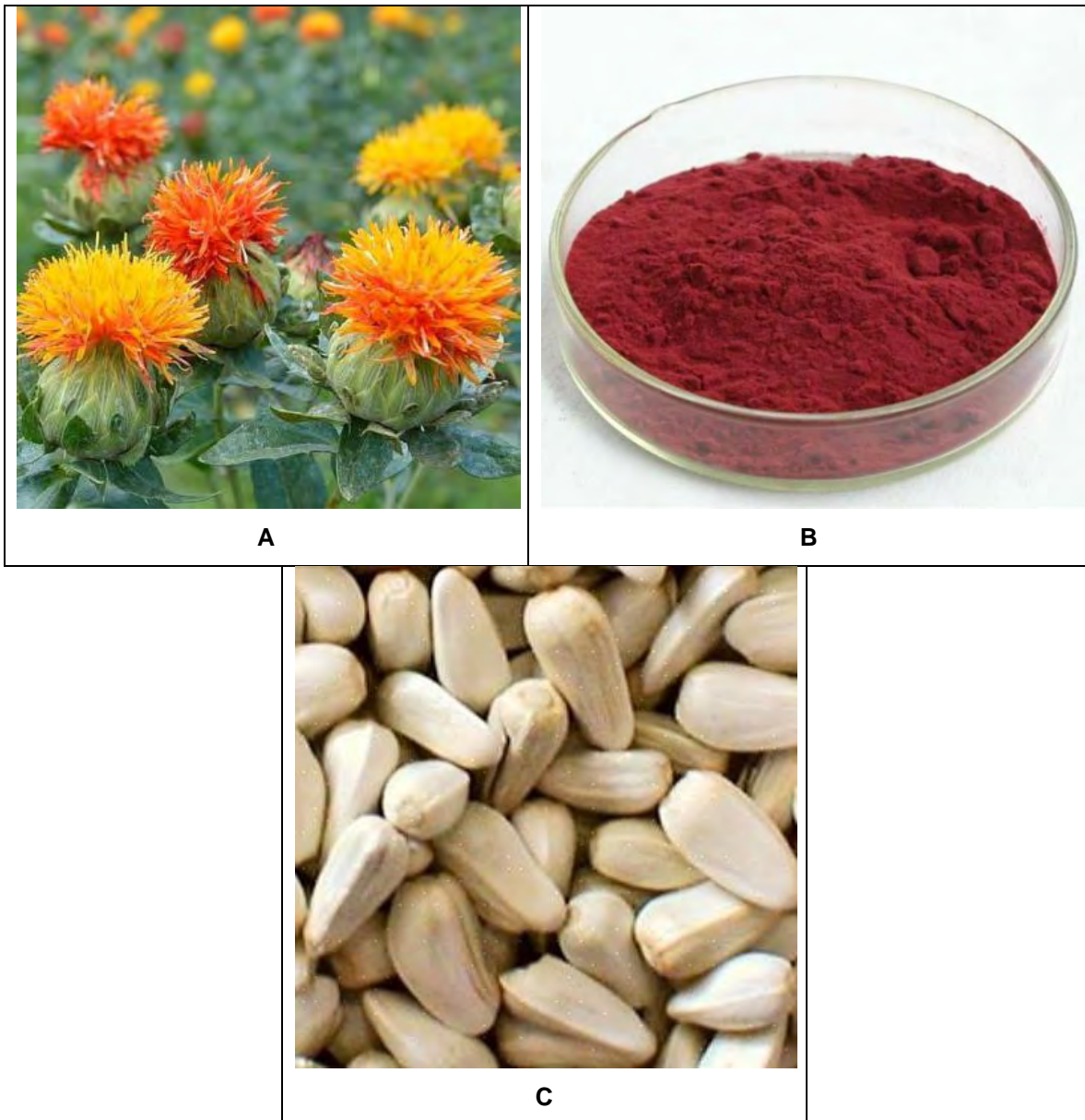
Em vista do que foi exposto, fica visível a perda de valor comercial destes subprodutos, que podem ser beneficiados e utilizados como substitutos a alimentos tradicionais, contribuindo, possivelmente, com a redução dos custos de produção e acréscimo de valor nutricional. Dentre as os subprodutos provenientes da extração de óleos, as tortas de cártamo e de girassol mostram-se promissoras devido a ampla disponibilidade e baixo uso de suas tortas. Estes subprodutos apresentam, ainda, alto potencial para consumo devido à suas composições, sendo ricas em proteína e fibras.

### 3.5. Cártamo (*Carthamus tinctorius* L.)

O cártamo (Figura 1A) (*Carthamus tinctorius* L.) pertencente à família Asteraceae. É uma cultura oleaginosa que originalmente foi cultivada para uso das flores das quais é extraído a cartamina, um corante vermelho (Figura 1B), do qual se extrai outro corante de coloração amarelada, tais corantes são utilizados para uso alimentar, aromatizante e para fins medicinais. Atualmente o principal uso desta cultura é a utilização para ração para pássaros, e também a extração de óleo comestível e industrial de alta qualidade (MÜNDEL; (CANADA), 2004; OELKE et al., 1992; USDA, 2020).

O cártamo ganha destaque na agricultura mundial em função do seu elevado teor de óleo no grão, que varia de 30 a 50%, sendo rico em ácidos graxos (HOSSEINZADEH SAMANI et al., 2020; NOGALES-DELGADO; ENCINAR; GONZÁLEZ, 2019). O óleo é industrialmente empregado na fabricação de tintas, vernizes e cosméticos, e o óleo comestível é aplicado também na produção de biocombustíveis, sendo um óleo de cor clara que não escurece com o tempo. Além disso, a semente de cártamo vem sendo amplamente associada como auxiliadora no controle da obesidade, além de apresentarem um efeito protetor na perda óssea causada pela deficiência de estrogênio (BOZAN; TEMELLI, 2008; OELKE et al., 1992).

Com uma produção mundial de cerca 653,03 mil toneladas de sementes em 2020, essa oleaginosa ainda é considerada uma cultura menor quando comparada a outras oleaginosas, contudo, é cultivada em mais de 20 países, ocupando mais de 816 mil hectares de terras agrícolas em 2020 (AKGÜN; SÖYLEMEZ, 2022). A Rússia, maior produtora de óleo de cártamo, exportou o equivalente a US\$2 bilhões de dólares em óleo de cártamo em 2020. Neste mesmo ano, o óleo de cártamo movimentou US\$53 milhões de dólares no mercado de importação do Brasil e US\$246 milhões de dólares no mercado de importação dos Estados Unidos em 2020, indicando a importância financeira desta cultivar (FAOSTAT, 2019).



**Figura 1.** Flor de cártamo (A); corante cartamina em pó (B) e semente de cártamo (C).  
Fonte: 1(A) Miss Organic, 2023; 1(B) BINMEI, 2023; 1(C) Indiamart 2023.

Não há dados específicos na literatura sobre as porcentagens de torta proveniente da extração do óleo de cártamo, devido a variação da porção de óleo em cada cultivar, contudo, considerando que semente tem entre 30 e 50% de óleo (EMONGOR, 2010; VALCIR; OLIVEIRA, 2016), estima-se que a torta represente mais de 50% dos produtos do processamento, pois a extração do óleo das sementes, principalmente por prensa (mais comumente utilizada nesta oleaginosa) não é 100% eficaz, restando óleo residual nas tortas.

A torta das sementes de cártamo possui aproximadamente de 35% de proteína, 15% de fibras, 2,5% de compostos fenólicos e 4% de aminoácidos (MARTINEZ-FLORES et al., 2005). A torta apresenta, ainda, capacidade antioxidante, devido à presença de compostos fenólicos e flavonoides (CAMARGO et al., 2014; JI et al., 2018).

Tais dados evidenciam a necessidade de pesquisas direcionadas a inserção deste subproduto na alimentação humana. Apesar de já haver pesquisas avaliando este subproduto, a torta de cártamo ainda apresenta potencialidades a serem exploradas e dispõe de um potencial econômico expressivo.

### 3.6. Girassol (*Helianthus annuus*)

O girassol é uma semente oleaginosa (Figura 2), pertencente à família *Asteraceae*. Dentro do gênero *Helianthus*, é a espécie mais importante do ponto de vista comercial, sendo utilizada principalmente para produção de aquênios para alimentação de pássaros, produção de óleo comestível e como matéria prima para ração animal (BACKES et al., 2008; FAGUNDES et al., 2007).



**Figura 2.** Flor do girassol (A) e semente de girassol (B).  
Fonte: 2A – RIOFLOR, 2023; 2B – AgroMais Cajuru, 2023.



A semente de girassol apresenta teor de óleo em torno de 40-50%, este óleo contém alto teor de ácidos graxos e antioxidantes naturais, como os tocoferóis, que o tornam mais estável em comparação com outros óleos vegetais (RAI; MOHANTY; BHARGAVA, 2016).

De acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA - Foreign Agricultural Service), a nível mundial, a produção da semente de girassol foi de aproximadamente 57,26 milhões de toneladas métricas entre janeiro de 2021 e janeiro de 2022, e de óleo cerca de 22 milhões de toneladas métricas, no mesmo período (USDA, 2022). No Brasil, a produção de sementes de girassol gira em torno de 132 mil toneladas e de óleo cerca de 196 mil toneladas por ano (FAOSTAT, 2019).

A Ucrânia, maior produtora de óleo de girassol, exportou o equivalente a US\$5 bilhões de dólares em óleo de girassol em 2020, enquanto o Brasil importou cerca de US\$53 mil dólares e os Estados Unidos US\$256 mil dólares em óleo de girassol no mesmo período (FAOSTAT, 2019). A semente do girassol tem em níveis máximos 50% de óleo, restando um teor de óleo entre 7 e 9% pela extração mecânica (WEISS, 1983). Em prensas de pequena capacidade (40 kg por h) estes valores podem chegar a 8 e 14% de óleo na torta (PIGHINELLI et al., 2009). Matematicamente, é possível afirmar que o rendimento da torta equivale a mais de 50% do total de produtos provenientes da extração de óleo.

A semente de girassol é uma fonte valiosa de nutrientes, rica em vitamina E e ácido linoleico, que pode resultar em diminuição dos níveis de colesterol (FRANCO, 2018), características que podem também estar presentes na torta. Sua torta é composta por cerca de 25% de proteína, 25-38% de fibras e 4,5% de matéria mineral (BERWANGER et al., 2014).

Tais informações tornam-se um impulso no desenvolvimento de pesquisas a cerca dessa oleaginosa e principalmente acerca do subproduto gerado da extração do óleo, a torta de girassol.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Materiais

Farinha de trigo, da marca Rosa Branca®, foi adquirida em um comercio da cidade de Dourados – MS, sua composição (de acordo com o fabricante) pode ser vista na Figura 3.

	Quantidade por porção	% VD(*)
Valor Energético	172 kcal = 722 kJ	9%
Carboidratos	36 g	12%
Proteínas	5,3 g	7%
Gorduras Totais	0,7 g	1%
Gorduras Saturadas	0 g	0
Gorduras <i>Trans</i>	0 g	**
Fibra Alimentar	1,0 g	4%
Sódio	0 mg	0
Ferro	2,1 mg	15%
Ácido Fólico	75 mcg	31%

\*%Valores diários de referência com base em uma dieta de 2.000kcal ou 8.400kJ. Seus valores diários podem ser maiores ou menores dependendo de suas necessidades energéticas.

\*\* %VD não estabelecido.

**Figura 3.** Informação nutricional da farinha de trigo Rosa Branca®.

Fonte: Elaboração própria

As tortas de cártamo e girassol (Figura 4) utilizadas foram cedidas por uma indústria extratora de óleos situada na cidade de Curitiba - PR (Óleos Olian ®), já secas.



**Figura 4.** Tortas de Cártamo (TC) e de Girassol (TG)  
Fonte: Elaboração própria

## **4.2. Métodos**

### *4.2.1. Caracterização das matérias primas*

As tortas foram caracterizadas de acordo com as análises descritas a seguir, as análises foram realizadas em triplicata para cada condição avaliada.

#### *4.2.1.1. Composição centesimal e minerais*

As análises de umidade, proteína bruta, fibra bruta, lipídios, cinzas, carboidratos disponíveis e minerais foram realizadas seguindo a metodologia definida pela AOAC (AOAC INTERNATIONAL; HORWITZ; W. LATIMER, 2007).

#### *4.2.1.2. Valor calórico*

Utilizando os fatores de conversão de Atwater, o valor calórico foi calculado com base na composição centesimal das farinhas, onde para cada grama de proteína somou-se +4 kcal, de carboidrato +4 kcal e de lipídio +9 kcal (OSBORNE; VOOGT, 1978).

#### 4.2.1.3. Cor, potencial hidrogeniônico (pH) e Atividade de água (Aw)

As determinações da cor, pH e Aw foram realizadas utilizando equipamentos específicos para leitura direta, **colorímetro** (Konica Minolta), pHmetro (Mylabor) e medidor de atividade de água por ponto de orvalho (Aqualab), respectivamente (AOAC INTERNATIONAL; HORWITZ; W. LATIMER, 2007). A análise de cor foi realizada nas amostras dispostas em uma placa de petri sobre um fundo branco.

#### 4.2.1.4. Compostos fenólicos, flavonoides e atividade antioxidante

Para as análises de Compostos fenólicos, flavonoides, sequestro de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil), FRAP (Capacidade de redução de Ferro) e ORAC (Capacidade de absorção de radicais de oxigênio) as amostras foram preparadas de acordo com a metodologia proposta por Adom e Liu (2002) com modificações: foram pesados 5g de amostra em um béquer e em seguida adicionou-se 20 mL de etanol 80% (v/v com água destilada). A mistura foi homogeneizada e deixada em repouso por 10 minutos à temperatura ambiente. Após este período a solução foi centrifugada (Eppendorf, Centrifuge 5430-R, Hamburgo, Alemanha) a 2500 rpm durante 10 minutos e o sobrenadante transferido para um balão volumétrico de 50 mL. Ao refugo da primeira extração repetiu-se o processo acima descrito e o sobrenadante resultante deste processo foi transferido para o balão volumétrico contendo o primeiro sobrenadante. O volume foi completado com etanol 80% (v/v com água destilada) resultando em um extrato da amostra.

##### 4.2.1.4.1. Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos livres foram determinados pelo método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu (10 %) de acordo com Singletin, Orthofer e Lamuela-Racentós (1999). O ácido gálico foi utilizado como padrão de referência para a construção de uma curva de calibração com 7 pontos (0,015 mg de ácido gálico por mL de solução à 0,075 mg de ácido gálico por mL de solução). Água destilada foi utilizada como solvente.

A uma alíquota de 5  $\mu$ L do extrato da amostra foram adicionados 2,5 mL de Folin-Ciocalteu (10 %) e 2,0 mL de Carbonato de sódio 7,5 %, em seguida foram aquecidos em banho-maria (Marconi, MA 159, Piracicaba, Brasil) a 50 °C por 15 min. Após resfriadas as absorbâncias das amostras foram lidas em espectrofotômetro (PerkinElmer, Lambda 35, EUA) a um comprimento de onda de 760 nm. A partir da equação da reta obtida pela curva de calibração, determinou-se a quantidade de compostos fenólicos como equivalentes de ácido gálico (EAG) presentes em cada formulação.

#### 4.2.1.4.2. Flavonoides

O teor de flavonoides foi estabelecido pelo método espectrofotométrico proposto por Boroski e colaboradores (2015). Uma curva 7 pontos foi determinada utilizando como padrão de referência a quercitina e como solvente água destilada, com concentrações entre 5 mg de quercitina por L de solução à 90 mg de quercitina por L de solução.

A uma alíquota de 5  $\mu$ L do extrato da amostra foram adicionados 250  $\mu$ L de cloreto de alumínio 5% (v/v em metanol) e 4,25 mL de metanol. Em seguidas foram agitados manualmente por 2 minutos e mantidos em temperatura ambiente por 30 min. As absorbâncias das amostras foram lidas em espectrofotômetro (PerkinElmer, Lambda 35, EUA) a um comprimento de onda de 425 nm. A partir da equação da reta obtida na curva de calibração determinou-se a quantidade de flavonoides como equivalentes de quercitina (EQ) presentes em cada formulação.

#### 4.2.1.4.3. DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil)

Foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Rufino e colaboradores (2007). Preparou-se uma solução inicial de DPPH (60  $\mu$ M) e desta solução definiu-se uma curva de 7 pontos (entre 0 e 60  $\mu$ M de DPPH).

Do extrato da amostra foram realizadas 5 diluições. Uma alíquota de 0,1 mL de cada diluição foi transferida para tubos de ensaio com 3,9 mL do radical DPPH (0,06  $\mu$ M) e homogeneizados. Foram realizadas leituras (em comprimento de onda de 515 nm) a cada minuto, até a estabilização da absorbância. A partir das

absorbâncias obtidas das diferentes diluições dos extratos, determinou-se a equação da reta em que a absorbância corresponde ao eixo Y e a diluição (mg/L) ao eixo X. A atividade antioxidante total foi determinada de acordo com a quantidade de amostra necessária para reduzir em 50% a concentração inicial do radical DPPH (EC<sub>50</sub>).

#### 4.2.1.4.4. Capacidade de redução de Ferro (FRAP)

Foi determinado de acordo com Benzie e Strain (1996). Onde 9 mL de solução FRAP (tampão acetato (300 mM); solução de 2,4,6-tripiridil-S-triazina (10 mM); cloreto férrico (20 mM); na proporção de 10:1:1) foram homogeneizados com 0,1 mL de extrato. A mistura foi mantida a 37 °C por 30 min em banho maria (Marconi, MA 159, Brasil). A absorbância da amostra foi medida em um espectrofotômetro (PerkinElmer, Lambda 35, EUA) a um comprimento de onda de 593 nm. Trolox foi usado como padrão de referência e os resultados foram relatados como μmol de trolox equivalente (TE) por grama de matéria seca.

#### 4.2.1.4.5. Capacidade de absorção de radicais de oxigênio (ORAC)

A capacidade de absorção de radicais de oxigênio foi determinada de acordo com Ou, Hampsch-Woodill e Prior (2001). Em uma microplaca, uma alíquota (150 μL) de solução de fluoresceína (81 mM) e 25 μL de extratos foram adicionados às células. A microplaca foi incubada a 37 °C por 10 min em um espectrofluorímetro (BMG Labtech, FLUOstarOPTIMA, Alemanha). Em seguida, 25 μL de dicloridrato de 2,2-azobis (2-metilpropionamidino) (152 mM) foi adicionado a cada célula e a determinação do decaimento da fluoresceína foi realizada com comprimento de onda de excitação de 485 nm e emissão de 528 nm realizada a cada 1 min por 120 min.

Trolox foi utilizado como padrão externo e os resultados foram relatados como mg de trolox equivalente (TE) por grama de matéria seca.

#### 4.2.1.5. Micotoxinas

A extração de micotoxinas foi realizada de acordo com a metodologia descritos por Franco e Oliveira (2022). A extração foi feita em uma única etapa em

que 1g de amostra foi misturada com uma solução ácida, em seguida esse extrato foi injetado diretamente em um sistema de cromatografia líquida de ultra desempenho acoplado a um espectrômetro de massa tandem (UPLC-MS/MS).

Os extratos das amostras preparadas foram analisados em um sistema UPLC Acquity I-Class® (Waters, Milford, MA) equipado por uma coluna BEH C18 (2,1 × 50 mm, 1,7 µm) e combinado com um Espectrômetro de massa Xevo TQ-S® (waters, Milford, MA). Os volumes de injeção de todos os tipos de amostras e padrões para separação cromatográfica foram de 5 µL. As condições de corrida cromatográfica em todas as análises e a faixa de concentração das curvas de calibração preparadas com as soluções de trabalho foram iguais às usadas por Franco e Oliveira (2022). O modo de Monitoramento de Reação Múltipla (MRM) aplicado para operar o espectrômetro de massa usando ionização por eletropulverização nos modos de íons positivos e negativos. Tensões capilares, temperaturas e vazões dos gases de origem e de dessolvatação usados no espectrômetro de massa foram estabelecidos de acordo com Franco e Oliveira (2022). O software MassLynx versão 4.1 foi utilizado para processamento e coleta de dados.

#### 4.2.1.6. Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

A análise de calorimetria exploratória diferencial foi realizada através do equipamento DSC (DSC 2010, TA instruments, New Castle, DE, USA). As amostras dos materiais foram colocadas em cápsulas de alumínio e posteriormente posicionadas no equipamento de DSC. As análises de DSC foram realizadas em um único ciclo de aquecimento de 25°C a 200°C, com fluxo contínuo de N<sub>2</sub> (50mL/min) e taxa de aquecimento de 10°C/min (ZAIDUL et al., 2008).

#### 4.2.1.7. Difração de raios-X

A análise de difração de raios-X foi realizada utilizando um difratômetro de raios X RU-200b (Rigaku) com anodo de Cobre operando a 40 Kv e corrente de 15 mA. A análise foi realizada de 2° à 40° a uma taxa de 0,02° grau por minuto e taxa de velocidade de varredura de 0,5°min<sup>-1</sup> (CARDOSO et al., 2022).

#### 4.2.1.8. Espectroscopia de Infravermelhos por transformada de Fourier (FTIR)

A análise foi realizada utilizando um Espectrofotômetro (PerkinElmer, Lambda 35, EUA), na faixa espectral entre 4.000 e 550  $\text{cm}^{-1}$  com resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$ , as varreduras foram registradas à temperatura ambiente (CARDOSO et al., 2022).

#### 4.2.1.9. Morfologia

A morfologia foi avaliada usando um microscópio eletrônico de varredura (TM300, microscópio de mesa Hitachi, Japão). As amostras foram fixadas com fita adesiva condutora de carbono e as imagens processadas usando o software ImageJ (ImageJ [versão 1.53k], National Institutes of Health) para obter o tamanho médio do amido (CARDOSO et al., 2022).

### 4.2.2. *Farinha composta*

De acordo com um estudo de revisão realizado, para que não haja grandes alterações físicas nas propriedades da farinha composta produzida, quando comparada a farinha de trigo, a concentração da farinha utilizada como base permanece entre 50-99%. Dessa forma, definiu-se a concentração mínima de 70% para a farinha de trigo. Considerando este número, foram definidas as concentrações de torta a serem utilizadas para a elaboração das farinhas compostas (Tabela 3).

Formulações com 10% de tortas foram testadas, contudo devido à alta quantidade de farinha de trigo na farinha composta, que apresenta baixa granulometria, a mistura ficou retida na extrusora impossibilitando a extrusão da mesma. Além disso, como o principal intuito da elaboração das farinhas compostas seria gerar um produto com alto valor nutricional, a substituição de 10% da farinha de trigo por torta de cártamo ou girassol pouco alteraria a composição. Assim, optou-se por não utilizar essa concentração, desenvolvendo farinhas com 20 e 30% de tortas.

As formulações foram elaboradas de duas formas, através de mistura convencional e por meio do processo de extrusão, a fim de avaliar e validar possíveis benefícios da metodologia de extrusão.



Previamente a produção das farinhas compostas, as tortas foram moídas em moinho de facas (SOLAB, Willey SL-31, Brasil) e peneiradas em peneira granulométrica em inox 635 mesh com abertura de 200µm. Para a produção das farinhas compostas extrusadas, utilizou-se farinhas compostas misturadas de maneira convencional.

**Tabela 3.** Concentrações de farinha de trigo (FT), torta de cártamo, torta de girassol e método de mistura utilizado na produção das farinhas compostas.

<b>Formulações</b>	<b>Farinha de trigo (%)</b>	<b>Torta de Cártamo (%)</b>	<b>Torta de Girassol (%)</b>	<b>Metodologia de mistura utilizada</b>
<b>Controle (FT)</b>	100	0	0	-
<b>FC20E</b>	80	20	-	Extrusão
<b>FC20M</b>	80	20	-	Mistura Simples
<b>FC30E</b>	70	30	-	Extrusão
<b>FC30M</b>	70	30	-	Mistura Simples
<b>FG20E</b>	80	-	20	Extrusão
<b>FG20M</b>	80	-	20	Mistura simples
<b>FG30E</b>	70	-	30	Extrusão
<b>FG30M</b>	70	-	30	Mistura Simples

Fonte: Elaboração própria

#### 4.2.3. Extrusão

A extrusão foi realizada em uma extrusora de rosca única (Figura 5), disponível na Universidade Estadual de São Paulo (UNESP), na cidade de São José do Rio Preto - SP. Os parâmetros testados inicialmente durante a extrusão foram baseados nos utilizados por Zasykin e Lee (1998) e Fleischman e colaboradores (2016) e, após testes, definiu-se os parâmetros para todas as formulações de farinhas compostas. Estes estão expressos a seguir.

- Umidade de 20% em base seca;
- Taxa de alimentação para todas as combinações de farinha e tortas constante;
- Velocidade da rosca de 192rpm;
- Diâmetro da matriz de 3,2 mm;

- Zonas de temperatura: Alimentação desligada, zonas de transporte 70 °C e 90 °C, respectivamente, e zonas de compressão 140 °C e 140 °C, respectivamente.



**Figura 5.** Extrusora de rosca única.  
Fonte: Elaboração própria

Após a extrusão, os extrusados foram armazenados em sacos hermeticamente fechados até a moagem. Os extrusados foram moídos em moinho de facas visando a diminuição do tamanho das partículas (inferior a 300 $\mu$ m). A granulometria foi definida através da instrução normativa 8/2005 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que define como limite de tolerância para farinha de trigo tipo 1, 2 uma granulometria em que 95% do produto deve passar por peneira com abertura de malha de 250 $\mu$ m, com exceção da farinha integral (MAPA, 2005). Desta forma, definiu-se uma granulometria de 300  $\mu$ m, por se tratar de uma farinha composta, que se assemelha as definições de farinha integral, uma baixa granulometria foi selecionada com a intenção de diminuir as alterações nas características sensoriais dos produtos com ela desenvolvidos. A umidade do

produto moído foi analisada e ajustada até teor de umidade inferior a 15% m/m através da incorporação de água na amostra por pulverização, sendo este o teor máximo permitido para farinhas de trigo, de acordo com a instrução normativa 8/2005 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2005) e também de acordo com a norma definida pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO; WORD HEALTH ORGANIZATION, 1985). As farinhas foram então armazenadas em sacos fechados à aproximadamente -14 °C para futuras análises.

#### 4.2.3.1. Razão de expansão dos extrusados

A razão de expansão foi determinada pela razão entre o diâmetro do extrusado antes da secagem (D em mm) e o diâmetro da matriz do extrusor (D<sub>0</sub> em mm). O valor considerado foi definido através da média de 10 medições para cada formulação, conforme a metodologia utilizada por Gujska e Khan (1991).

#### 4.2.3.2. Densidade dos extrusados

A densidade (ρ em g/cm<sup>3</sup>) foi determinada por meio de dez medições aleatórias do diâmetro (D em cm) e comprimento (L em cm) usando um paquímetro digital IP54 (Zaas) e do peso do extrusado (W em g), calculada a partir da equação 1 (CHOUDHURY; GAUTAM, 2003).

$$P = \frac{4W}{\pi D^2 L} \quad \text{Equação 1}$$

#### 4.2.4. Caracterização das farinhas compostas

As farinhas compostas provenientes de mistura simples e extrusadas foram caracterizadas de acordo com as metodologias realizadas nas tortas, já apresentadas no tópico 4.2.1, e através das análises das propriedades funcionais descritas a seguir. Todos os ensaios foram realizados em triplicata para cada formulação.

#### 4.2.4.1. Índice de absorção de água (IAA) e Índice de solubilidade em água (ISA)

As análises de IAA e ISA foram realizadas em quatro temperaturas diferentes. Para isso cada uma das farinhas compostas avaliada foram divididas em quatro lotes. Para a realização da análise 1 g de amostra foi dispersa em 25 mL de água destilada, esta dispersão foi realizada em triplicata para cada lote. Um lote foi agitado em shaker (SOLAB, SL-222/E, Brasil) a 240 rpm, por 30 min em temperatura ambiente ( $\pm 30$  °C) enquanto os demais (lotes 2, 3 e 4) foram incubados em banho (Marconi, MA 159, Brasil) em diferentes temperaturas (65, 75 e 85°C, respectivamente) por 30 min. Em seguida as amostras foram centrifugadas (Eppendorf, 5430-R, Alemanha) a 2500 rpm por 20 min. O sobrenadante foi seco em estufa (FANEM, 515, Brasil) por 15 h a 105 °C para o cálculo do ISA e o material contido no tubo pesado para o cálculo do IAA. O cálculo do IAA foi baseado na razão massa da amostra hidratada pela massa da amostra desidratada (g água/g amostra seca). O cálculo do ISA foi determinado através da razão entre a massa do sólido desidratado e a massa da farinha desidratada (%) (CASTRO et al., 2020).

#### 4.2.4.2. Índice de absorção de óleo (IAO)

Pesou-se 4 g de amostra seca e adicionou-se 24 mL de óleo de soja. A mistura foi agitada por 30 min em shaker (SOLAB, SL-222/E, Brasil), seguido de centrifugação (Eppendorf, Centrifuge 5430-R, Hamburgo, Alemanha) a 2500 rpm por 25 min. O sobrenadante foi descartado. Para o cálculo, a massa do resíduo insolúvel foi dividida pela massa inicial da amostra (g óleo/g amostra seca) (SOSULSKI; GARRATT; SLIMKARD, 1976).

#### 4.2.4.3. Propriedades emulsificantes

A capacidade e estabilidade da emulsão foram determinadas de acordo com Yasumatsu *et al.*, (1972). Em um béquer pesou-se 1g de amostra e posteriormente adicionou-se 50 mL de água destilada fria ( $\pm 4$ °C) e 50ml de óleo de girassol. Esta solução foi emulsionada em misturador mecânico (FISATOM, 713, Brasil) a 1500 rpm. Parte da emulsão foi centrifugada a 2000 rpm por 10 minutos enquanto o

restante foi centrifugado nas mesmas condições após aquecimento em banho-maria (Marconi, MA 159, Piracicaba, Brasil) a 80°C por 30 minutos e resfriamento à temperatura ambiente (25°C).

A diferença da altura da camada emulsificada centrifugada em relação à altura total do material nos tubos não centrifugados, foi utilizada para calcular a atividade emulsificante e a estabilidade, através das fórmulas a seguir (Equações 2 e 3).

$$\text{Capacidade de emulsão (\%)} = \frac{\text{altura da camada de emulsão centrifugada}}{\text{altura total do material nos tubos}} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

$$\text{Estabilidade emulsão (\%)} = \frac{\text{altura da camada de emulsão após aquecimento e centrifugação}}{\text{altura total do material nos tubos}} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

#### 4.2.4.4. Densidade absoluta

A densidade absoluta foi determinada por meio de deslocamento de líquido em picnômetro, de acordo com Schoch e Leach (1964). Para definir o volume exato do picnômetro utilizou-se água destilada a 4 °C.

#### 4.2.5. Análise Estatística

O teste ANOVA foi empregado para determinar a ocorrência de diferença significativa entre os resultados e quando constatada essa diferença significativa aplicou-se teste de Tukey em um nível de significância de 5% através do software Estatística 7.0 (Stasoft, EUA). Para análises de correlação de Pearson ou Spearman o software Estatística 7.0 (Stasoft, EUA) foi utilizado a nível de significância de 5%. A correlação de Pearson foi utilizada para correlação linear enquanto que a correlação de Spearman para correlação não linear. O nível de correlação foi classificado de acordo com Rumsey (2016).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Caracterização das matérias primas

#### 5.1.1. Composição centesimal e valor calórico

Os resultados da composição centesimal e valor calórico obtidos para as tortas de cártamo e girassol e para a farinha de trigo estão expressos na Tabela 4.

As tortas apresentaram composições distintas entre si em termos de proteínas e fibras.

A torta de cártamo apresentou maior concentração de fibra bruta e carboidrato, enquanto a torta de girassol apresentou maior concentração de proteína e extrato etéreo. Contudo, ambas as tortas apresentaram concentrações superiores de proteína fibra bruta e cinzas quando comparadas a farinha de trigo (Tabela 4).

Ao observar a composição da farinha de trigo é possível notar uma discrepância na quantidade de nutrientes entre os valores fornecidos pelo fabricante (Figura 3) e os encontrados nas análises (Tabela 4), principalmente nos valores de carboidratos e proteínas. A concentração de carboidratos fornecido pelo fabricante indica 62 g/ 100 g e neste estudo observou-se que a farinha em questão contém 85,43 g/ 100 g, uma variação superior a 20%.

**Tabela 4.** Composição centesimal (em base seca) das tortas de cártamo (TC) e girassol (TG) e da farinha de trigo (FT) comercial.

	<b>Umidade (%)</b>	<b>Proteína Bruta (%)</b>	<b>Fibra Bruta (%)</b>	<b>Extrato etéreo (%)</b>	<b>Carboidratos (%)</b>	<b>Cinzas (%)</b>	<b>Valor calórico (kcal/100g)</b>
<b>FT</b>	13,75 ± 0,07 <sup>a</sup>	12,46 ± 0,06 <sup>c</sup>	0,72 ± 0,01 <sup>c</sup>	0,75 ± 0,06 <sup>c</sup>	85,43 ± 0,20	0,53 ± 0,06 <sup>c</sup>	398,16 ± 1,20 <sup>a</sup>
<b>TC</b>	4,95 ± 0,02 <sup>c</sup>	15,34 ± 0,01 <sup>b</sup>	49,90 ± 0,25 <sup>a</sup>	15,94 ± 0,24 <sup>b</sup>	16,23 ± 0,35	2,59 ± 0,01 <sup>b</sup>	269,23 ± 0,72 <sup>c</sup>
<b>TG</b>	6,71 ± 0,08 <sup>b</sup>	24,25 ± 0,02 <sup>a</sup>	40,17 ± 0,29 <sup>b</sup>	28,57 ± 0,10 <sup>a</sup>	3,65 ± 0,58	3,37 ± 0,05 <sup>a</sup>	368,18 ± 0,71 <sup>b</sup>

Médias seguidas por letras iguais em uma mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%

Fonte: Elaboração própria

A composição centesimal da torta de cártamo apresentou quantidades dispareas as observadas na literatura. Martinez-Flores e colaboradores (2005), por exemplo, encontraram concentrações de 32,9 g de proteína /100g, 15,8 g de fibras alimentares/100g e 43,9 g de carboidratos /100g em tortas de cártamo provenientes de uma indústria extratora de óleos do México. Isso pode ser atribuído ao fato de serem cultivos diferentes, em regiões diferentes e possível variedade distintas, resultando assim em alterações na composição das oleaginosas e consequente alteração nas tortas. Além destes aspectos, as diferenças também podem ser atribuídas a diferentes métodos de extração do óleo. A pesquisa de Paredes-Lopes e Ordorica-Falomir (1986) reafirma esta hipótese. Os pesquisadores avaliaram tortas

de cártamo obtidas em laboratório ou a partir do comércio e encontraram valores (em base seca) de proteína 46,8% e 28,2%, e de fibra bruta 7,4% e 21,9%, para a amostra laboratorial e comercial, respectivamente (PAREDES-LOPES E ORDORICA-FALOMIR, 1986). Nota-se que a amostra comercial tende a ter valores maiores de fibra e menores de proteína, o que está em concordância com os valores deste estudo.

As concentrações de proteína, cinzas e extrato etéreo para a torta de girassol obtidas neste estudo (Tabela 4) estão pouco abaixo dos resultados encontrados por Berwanger *et al.* (2014) para torta de girassol (32,22%, 4,2% e 31,23 em base seca, respectivamente). Jannathulla *et al.* (2018) ao avaliarem a composição de torta de girassol observaram valores em base seca (g/100g) de 35,6 de proteína bruta, 28,9 de fibra bruta, 1,7 de óleo residual, 25,9 de carboidratos/ 100g. Assim como o apresentado pela torta de cártamo, os resultados da torta de girassol obtidos neste estudo (Tabela 4) divergem a alguns presentes na literatura (JANNATHULLA *et al.*, 2018; ROUILLY *et al.*, 2006) contudo, tais variações nas concentrações de tortas são comuns.

Evon e colaboradores (2015), por exemplo, observaram concentração de 8,34% (base seca) para proteína, valor significativamente inferior ao comumente encontrado, todavia, os valores de minerais (7,06% base seca) encontrados por esses autores se assemelham a alguns dados presentes na literatura (Rouilly *et al.*, 2006).

De forma geral, a composição das tortas de cártamo e girassol apresentaram, como o esperado, composição nutricional rica em proteína e fibra bruta e com baixo teor de carboidrato, reforçando as possíveis vantagens de incorporá-las a uma farinha composta.

### 5.1.2. Minerais

O conteúdo de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) da farinha de trigo e das tortas utilizadas como matéria prima podem ser observadas na Tabela 5. No geral, a farinha de trigo apresentou valores significativamente menores de minerais quando

comparada a ambas as tortas, não diferindo significativamente somente da torta de cártamo para sódio e ferro. A torta de girassol apresentou concentrações maiores em todos os minerais, não diferindo significativamente da torta de cártamo somente na quantidade de cálcio.

**Tabela 5.** Conteúdo de minerais da Farinha de Trigo (FT) Torta de Girassol (TG) e Torta de Cártamo (TC), em base seca.

Minerais	unidade	Amostras		
		FT	TC	TG
P		0,80 ± 0,01 <sup>c</sup>	1,98 ± 0,04 <sup>b</sup>	4,13 ± 0,13 <sup>a</sup>
K		3,12 ± 0,00 <sup>c</sup>	16,75 ± 0,00 <sup>b</sup>	18,77 ± 0,00 <sup>a</sup>
Ca	g.kg-1	1,07 ± 0,21 <sup>b</sup>	4,31 ± 0,24 <sup>a</sup>	4,66 ± 0,60 <sup>a</sup>
Mg		ND	2,74 ± 0,14 <sup>b</sup>	5,20 ± 0,19 <sup>a</sup>
S		4,06 ± 0,32 <sup>b</sup>	5,58 ± 1,07 <sup>b</sup>	12,48 ± 0,58 <sup>a</sup>
Cu		ND	24,19 ± 0,35 <sup>b</sup>	40,11 ± 3,96 <sup>a</sup>
Fe	mg.kg-1	155,85 ± 0,85 <sup>b</sup>	204,93 ± 2,97 <sup>b</sup>	345,80 ± 45,96 <sup>a</sup>
Mn		6,73 ± 0,96 <sup>c</sup>	27,53 ± 0,35 <sup>b</sup>	40,07 ± 1,48 <sup>a</sup>
Zn		81,20 ± 1,05 <sup>c</sup>	171,08 ± 1,71 <sup>b</sup>	207,41 ± 2,97 <sup>a</sup>

Médias seguidas por letras iguais em uma mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 95 %

Fonte: Elaboração própria

As concentrações de minerais encontradas na literatura para torta de cártamo variaram bastante. Os valores observados nesta pesquisa (Tabela 5) são semelhantes aos observados na literatura para Mg (entre 0,3 e 4,3 g/kg), Cu (entre 11,9 e 27,1 mg/kg) e Mn (entre 16,2 e 28,2 mg/kg), inferiores aos vistos para P (entre 2,4 e 9,6 mg/kg) e superiores aos encontrados para K (entre 6,3 e 9,5 g/kg), Ca (entre 1,5 e 1,7 g/kg), Fe (53,5 e 178,0 mg/kg) e Zn (20,0 e 85,4 mg/kg) (MANSOURI et al., 2018; RAHAMATALLA et al., 1998).

A torta de girassol aqui analisada apresentou concentrações de minerais (Tabela 5) próximas às observadas na literatura para Ca (entre 1,4 e 6,5 g/kg), Mg (entre 4,2 e 5,7 g/kg), Cu (entre 40,0 e 71,25 mg/kg) e Mn (entre 19,0 e 65,73 mg/kg), inferiores para P (entre 7,11 e 14,2 g/kg) e superiores para K (entre 7,5 e 9,0 g/kg), S (entre 0,5 e 0,9 g/kg), Fe (entre 64,4 e 119,75 mg/kg) e Zn (entre 53,37 e 90,11



mg/kg) (MOHAMMAD SUMON et al., 2020; PETRARU; URSACHI; AMARIEI, 2021; VASUDHA; SARLA, 2021).

A partir dos resultados encontrados na literatura é possível concluir que a quantidade de minerais entre diferentes cultivares de cártamo ou de girassol é bastante variável, sendo as concentrações encontradas nesta pesquisa para ambas as tortas promissoras (Tabela 5), apresentando, principalmente, altas concentrações de potássio, ferro e zinco, reafirmando o potencial de utilização das tortas de cártamo e girassol na alimentação humana.

### 5.1.3. Cor, pH e Atividade de água

Os parâmetros de cor, atividade de água e pH das tortas e da farinha de trigo podem ser observadas na Tabela 6. Como esperado a cor das tortas diferiram significativamente da farinha de trigo. A cor possui alto impacto na aceitação e apreciação de farináceos pelo consumidor, que, na maioria das vezes, preferem produtos com maior intensidade de luminosidade (L), isto é, maior tendência ao branco (L próximo 100) (MENEZES FILHO; SOUZA; CASTRO, 2019). As tortas apresentaram valor de luminosidade intermediário, devido à coloração escura do produto resultante após a prensa para a retirada de óleo. A torta de cártamo, como esperado, apresentou maior luminosidade que a torta de girassol devido a coloração de suas sementes tenderem ao branco (Figura 1C).

**Tabela 6.** Parâmetros de cor (L – luminosidade, a\* e b\* - saturação), atividade de água (Aw) e pH da farinha de trigo (FT), torta de cártamo (TC) e torta de girassol (TG).

	<b>L</b>	<b>*a</b>	<b>*b</b>	<b>pH</b>	<b>Aw</b>
<b>FT</b>	92,63 ± 0,17 <sup>a</sup>	0,57 ± 0,06 <sup>b</sup>	10,23 ± 0,03 <sup>b</sup>	5,77 ± 0,02 <sup>c</sup>	0,73 ± 0,01 <sup>a</sup>
<b>TC</b>	45,37 ± 0,36 <sup>b</sup>	4,54 ± 0,35 <sup>a</sup>	16,69 ± 0,37 <sup>a</sup>	6,08 ± 0,03 <sup>b</sup>	0,37 ± 0,01 <sup>c</sup>
<b>TG</b>	40,44 ± 0,19 <sup>c</sup>	1,53 ± 0,15 <sup>b</sup>	9,23 ± 0,38 <sup>b</sup>	6,29 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,55 ± 0,00 <sup>b</sup>

Médias seguidas por letras iguais em uma mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%

Fonte: Elaboração própria

A torta de girassol não apresentou diferença significativa da farinha de trigo nos parâmetros  $a^*$  e  $b^*$  e tanto a farinha de trigo quanto as tortas apresentaram tons cromaticidade de vermelho e amarelo, com intensidades diferentes. Esse resultado pode ser determinado através da análise da saturação, que pode ser dividida em dois vetores de cores ( $a^*$  e  $b^*$ ) com intensidades variadas (de -100 a +100), sendo as escalas do verde ( $-a^*$ ) ao vermelho ( $+a^*$ ) e do azul ( $-b^*$ ) ao amarelo ( $+b^*$ ) (FERREIRA; SPRICIGO, 2017).

A Figura 6 apresenta a imagem e as cores através da conversão das escalas através da plataforma Nix Color Sensor® para a torta de cártamo, torta de girassol e farinha de trigo.



**Figura 6.** Produto e cor correspondente da farinha de trigo (FT), torta de cártamo (TC) e de girassol (TG)

Fonte: Elaboração própria

O pH diferiu significativamente em todas as matérias primas avaliadas, em que as tortas apresentaram pH acima de 6 enquanto que a farinha de trigo apresentou um pH abaixo desse valor. Entretanto, todas as amostras podem ser classificadas como “pouco ácidas”, pois apresentaram pH superior a 4,6 (MARQUES GARCIA, 2004; MENEZES FILHO; SOUZA; CASTRO, 2019).

O pH em farinhas é importante pois pode influenciar na solubilidade das proteínas, capacidade emulsificante, estabilidade da emulsão e capacidade de formação de espuma. Ahmed *et al.* (2011), por exemplo, ao avaliarem a influência do pH em farinhas de diferentes legumes observaram que, no geral, a solubilidade e a atividade emulsificante das farinhas é maior em pH 8,0, sendo estas propriedades

maiores em pH alcalino do que em ácido e a maior estabilidade de emulsão da farinha foi observada em pH 6,0. Logo, apesar de ser desejável pH mais ácido a fim de diminuir possíveis contaminações por microorganismos, pHs alcalinos favorecem propriedades importantes.

As tortas apresentaram atividade de água inferior a 0,6, já a farinha de trigo apresentou uma atividade de água maior, como pode ser visto na Tabela 6. Atividades de água baixas diminuem a proliferação de microorganismos e facilitam o armazenamento dos produtos, uma vez que produtos com baixa atividade de água não necessitam de refrigeração. Os alimentos podem ser classificados em 3 grupos de acordo com sua atividade de água: baixa atividade ( $A_w$  até 0,60), atividade intermediária ( $A_w$  entre 0,61 e 0,85) e com atividade ( $A_w$  superior a 0,85) (GRANT et al., 2004; TROLLER; CHRISTIAN, 1978). Desta forma, a farinha de trigo apresenta atividade de água intermediária, enquanto que as tortas mostram baixa atividade.

Em resumo, alimentos com baixa atividade de água e pH ácido tem menor perecibilidade, pois não favorecem a multiplicação microbiana (MARQUES GARCIA, 2004; MENEZES FILHO; SOUZA; CASTRO, 2019), assim sendo, as matérias primas utilizadas para a elaboração das farinhas compostas são resistentes a proliferação de microorganismos.

#### *5.1.4. Compostos fenólicos e Flavonoides*

As concentrações de compostos fenólicos e flavonoides obtidos para as diferentes matérias primas analisadas podem ser vistas na Tabela 7. A torta de cártamo apresentou valores quantificáveis para os dois componentes avaliados (fenólicos e flavonoides). Já a farinha de trigo não apresentou teor de compostos fenólicos quantificáveis e a torta de girassol não apresentou valores quantificáveis de flavonoides. Em relação aos compostos fenólicos, as tortas de cártamo e girassol apresentaram concentrações que não diferiram significativamente entre si.

**Tabela 7.** Compostos fenólicos em equivalentes de ácido gálico por g de farinha (mg EAG g<sup>-1</sup>) e flavonoides em equivalentes de quercitina por g de farinha (mg EQ g<sup>-1</sup>) das tortas de cártamo e girassol e da farinha de trigo comercial, em base seca

<b>Produto</b>	<b>Compostos fenólicos (mg EAG g<sup>-1</sup>)</b>	<b>Flavonoides (mg EQ g<sup>-1</sup>)</b>
<b>Farinha de trigo</b>	*	0,10 ± 0,01 <sup>b</sup>
<b>Torta de cártamo</b>	17,21 ± 0,17 <sup>a</sup>	0,47 ± 0,03 <sup>a</sup>
<b>Torta de girassol</b>	17,33 ± 0,04 <sup>a</sup>	*

Médias seguidas por letras iguais em uma mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5 %

Fonte: Elaboração própria

Há poucas informações sobre a torta de cártamo na literatura, principalmente em relação a compostos fenólicos e flavonoides. Flores, Mondragón e Sladanã (1996) encontraram uma concentração de 17,5 mg/g de compostos fenólicos, valor semelhante ao encontrado nesta pesquisa.

Muito trabalhos relacionados ao óleo e as sementes de cártamo podem ser encontrados na literatura, onde encontrou-se concentrações de compostos fenólicos para as sementes de cártamo entre 0,2722 e 132,7 mg EAG/g de semente (ASSEFA et al., 2021; BOZAN; TEMELLI, 2008), e para o óleo valores entre 0,14 e 98,52mg EAG/g de óleo (KHÉMIRI et al., 2020; ZEMOUR et al., 2019), nota-se uma variação expressiva entre os dados encontrados, sendo os valores observados neste estudo dentro da escala de variação para ambos os produtos provenientes do cártamo.

Vários fatores podem interferir na composição de uma cultivar, por exemplo, Zemour e colaboradores (2019) avaliaram a influência do ano sobre os compostos fenólicos em 3 cultivares de cártamo provenientes de diferentes localidades: Síria, França e Argélia. No ano de 2015 as cultivares apresentaram concentrações de 140,9, 199,5 e 168,1 mg EAG/g de óleo, respectivamente. As mesmas cultivares no ano de 2017 apresentaram concentrações de 412,8, 289,2 e 305,8 mg EAG/g de óleo, para as cultivares da Síria, França e Argélia, respectivamente. É possível notar uma diferença importante na concentração de compostos fenólicos nas cultivares seja pela diferença dos locais em que as sementes foram obtidas ou pelo ano em que foram plantadas (ZEMOUR et al., 2019).

Apenas um estudo sobre a concentração de flavonoides em tortas de cártamo, foi encontrado (JI et al., 2018), sendo o resultado (20,6 mg/g) expressivamente maior que o detectado nesta pesquisa. Novamente, a diferença na concentração de um determinado composto em uma mesma planta é frequente e esperado, como já discutido anteriormente.

A torta de girassol já foi um pouco mais estudada. A concentração de compostos fenólicos na torta em questão, de acordo com a literatura, variou entre 7,51 mg EAG/g e 57,00 mg/g (base seca), a depender da metodologia de extração utilizada (ALEXANDRINO et al., 2017; ROUILLY et al., 2006; WEISZ; KAMMERER; CARLE, 2009; ZARDO et al., 2019). Nota-se que os resultados observados para a concentração de compostos fenólicos da torta de girassol neste estudo estão de acordo com a literatura.

A concentração de flavonoides para torta de girassol na literatura está entre 7,92 mg EQ/g e 284 mg EQ/g (ADASCĂLULUI et al., 2022; MULTESCU et al., 2022). Sabe-se que na torta de girassol analisada nesta pesquisa há flavonoides, mas em quantidades inferiores a 0,08 mg EQ/g. Supõe-se que os flavonoides presentes na torta de girassol foram degradados pela secagem, onde as tortas já foram obtidas moídas e secas. Sabe-se que flavonoides são uma classe de compostos fenólicos e Patras et al. (2010) afirmam que o grau de degradação e estabilidade de compostos fenólicos dependem da intensidade da temperatura e o tempo de exposição, o que corrobora com a hipótese levantada nesta pesquisa.

De Castro et al. (2017) e Karaaslan et al. (2014) notaram em suas pesquisas a degradação de flavonoides durante a secagem de farinha de taro e sementes de romã, respectivamente, e atribuíram ao fato de os compostos fenólicos serem termo sensíveis. Karaaslan (2014) notou, ainda, que a concentração de antocianinas (que compõem uma das diferentes classes de flavonoides) foram degradadas com maior velocidade que a concentração de compostos fenólicos totais durante as condições de secagem. Esse fato vai de encontro ao observado nesta pesquisa e pode esclarecer a degradação dos flavonoides observada.

A concentração de flavonoides e principalmente de compostos fenólicos presentes nas tortas de cártamo e girassol são indicativos promissores do potencial

de utilização desses subprodutos, uma vez que o consumo destes tem sido associado à potencialização de efeitos promotores da saúde humana através da prevenção de várias doenças.

#### 5.1.5. Atividade Antioxidante

A atividade antioxidante das tortas e da farinha de trigo de acordo com os métodos de DPPH, FRAP e ORAC pode ser vista na Tabela 8.

Os resultados de DPPH expressam quantos mg da amostra são necessários para reduzir em 50% a concentração do radical DPPH (EC<sub>50</sub>), isto é, quanto menor a quantidade de amostra necessária, maior a capacidade antioxidante da amostra. A leitura da absorbância da farinha de trigo ficou fora dos limites da curva de DPPH, abaixo da amostra controle, e o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) não foi satisfatório (0,4), desta forma, optou-se por comparar apenas a atividade antioxidante das tortas com a literatura: EC<sub>50</sub> para farinha de trigo entre 11500,30 e 25729,30 mg/L (CIUDAD-MULERO et al., 2020; LEÃO; FRANÇA, 2013). Isso pode ser atribuído ao fato de que o extrato etanólico feito da farinha de trigo não continha quantidade significativa de atividade antioxidante para reduzir o DPPH.

Nota-se que ambas as tortas apresentaram valores consideravelmente maiores de capacidade antioxidante, quando comparadas a farinha de trigo, para as três metodologias aplicadas. A torta de cártamo apresentou maior atividade antioxidante de acordo com as análises de DPPH e ORAC, não diferindo significativamente da torta de girassol na análise de FRAP.

**Tabela 8.** Atividade antioxidante das tortas de cártamo (TC) e torta de girassol (TG) e da farinha de trigo (FT).

Produto	DPPH EC50 (mg / L)	FRAP (µmol Trolox Eq /g amostra)	ORAC (µmol Trolox Eq /g amostra)
FT	*	*	10,10 ± 0,53 <sup>c</sup>
TC	0,03 ± 0,00 <sup>b</sup>	15,65 ± 0,47 <sup>a</sup>	126,13 ± 8,9 <sup>a</sup>
TG	0,08 ± 0,00 <sup>a</sup>	15,49 ± 0,46 <sup>a</sup>	94,32 ± 2,38 <sup>b</sup>

\*valores abaixo da curva analítica. FRAP <0,16 uM Trolox Eq /g.

Médias seguidas por letras iguais em uma mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%

Fonte: Elaboração própria

Na literatura, a atividade antioxidante em EC<sub>50</sub> para torta de girassol está entre 0,051 mg e 5,6 mg/L (KARAMAĆ et al., 2012; RANI et al., 2018). Dessa forma, pode-se verificar que os resultados desta pesquisa estão em conformidade com a literatura de acordo com a análise de DPPH.

Para capacidade de redução de ferro (FRAP), a torta de girassol apresenta valores entre 0,18 e 5,40 µmol Trolox Eq / g amostra (ADASCĂLULUI et al., 2022; MULTESCU et al., 2022), estando os valores desta pesquisa acima dos observados na literatura. Já a capacidade de absorção de radicais de oxigênio (ORAC) da torta de girassol encontrada nesta pesquisa está abaixo dos valores encontrados na literatura, entre 180 e 296,2 µmol Trolox Eq /g amostra (NÁTHIA-NEVES; ALONSO, 2021, 2022), contudo, o resultado de ORAC é compatível com os resultados visualizados nas análises de DPPH e FRAP nesta pesquisa para a torta em questão.

A atividade antioxidante de tortas de cártamo ainda não foi muito estudada, desta forma, não foi possível encontrar resultados na literatura, optando-se por comparar os resultados com os dados da semente da oleaginosa em questão. Taha e Matthäus (2018) ao avaliarem a semente de cártamo observaram valores de EC<sub>50</sub> entre 0,8 e 0,91 mg para semente cruas e entre 0,39 e 1,17 mg para sementes torradas em diferentes temperaturas. Zemour *et al.*, (2019) observaram porcentagem de sequestro de DPPH entre 20,6 e 68,9% para sementes de cultivares de cártamo de diferentes localidades em diferentes anos.

Ao comparar os resultados obtidos para a torta de cártamo neste estudo com a atividade antioxidante da semente observada na literatura nota-se uma atividade antioxidante com grande potencial de aplicação, onde em termos de EC<sub>50</sub> a torta de cártamo apresentou capacidade antioxidante maior que para sementes cruas e próximos a escala de valores encontrados para sementes torradas. A capacidade de sequestro de DPPH da torta de cártamo foi de 95,70%, valor bastante superior aos encontrados para a semente.

As análises de FRAP e ORAC ainda foram pouco utilizadas na avaliação da atividade antioxidante das sementes ou óleo de cártamo. Yu e colaboradores (2013) avaliaram a semente de cártamo e observaram atividade de 62.9 ± 4.7 µmol TE/g para ORAC, sendo, portanto, os resultados desta pesquisa para torta de cártamo

promissores, tendo o dobro da atividade antioxidante presente na semente. Ionescu *et al.*, (2015) avaliaram a atividade antioxidante do óleo de cártamo através da metodologia de FRAP e encontraram valores de 1,56  $\mu\text{mol Fe}^{2+}$  / g óleo, valores bastante inferiores aos obtidos nesta pesquisa.

Portanto, pode-se verificar que a utilização das tortas, tanto de cártamo ou girassol, exibem um bom potencial de aplicação, em relação a atividade antioxidante, onde os agentes antioxidantes presentes nestas deverão estar presentes também nas farinhas compostas desenvolvidas.

#### 5.1.6. Micotoxinas

As micotoxinas avaliadas na farinha de trigo e nas tortas de cártamo e girassol podem ser observadas n Tabela 9. Foram avaliadas aflatoxinas ( $\text{AFB}_1$ ,  $\text{AFB}_2$ ,  $\text{AFG}_1$  e  $\text{AFG}_2$ ), desoxinivalenol (DON), fumonisinas ( $\text{FB}_1$  e  $\text{FB}_2$ ), tricotecenos (T2 e HT2), ocratoxina A (OTA) e zearalenona (ZEN). Ambas as tortas não apresentaram quantidades detectáveis para nenhuma das micotoxinas avaliadas (Tabela 9).

**Tabela 9.** Contaminação por micotoxinas (*aflatoxinas ( $\text{AFB}_1$ ,  $\text{AFB}_2$ ,  $\text{AFG}_1$  e  $\text{AFG}_2$ ), desoxinivalenol (DON), fumonisinas ( $\text{FB}_1$  e  $\text{FB}_2$ ), tricotecenos (T2 e HT2), ocratoxina A (OTA) e zearalenona (ZEA)) na farinha de trigo (FT), torta de cártamo (TC) e torta de girassol (TG).*

MICOTOXINAS (ug/kg)											
	$\text{AFB}_1$	$\text{AFB}_2$	$\text{AFG}_1$	$\text{AFG}_2$	DON	$\text{FB}_1$	$\text{FB}_2$	T2	HT2	OTA	ZEA
<b>FT</b>	ND	ND	ND	ND	614,06 $\pm$ 47,64	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<b>TC</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<b>TG</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND: micotoxina não detectada

Fonte: Elaboração própria

A farinha de trigo comercial apresentou resultado positivo para DON, entretanto, o valor apresentado está dentro dos limites máximos permitidos para essa classe de micotoxinas que é de 750  $\mu\text{g kg}^{-1}$  para farinha de trigo no Brasil, de acordo com a Agencia Nacional de Vigilância Sanitária ([ANVISA] AGENCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011).



### 5.1.7. Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

As temperaturas de picos endotérmicos obtidas através das análises de DSC para a farinha de trigo, e para as tortas de cártamo e girassol podem ser observadas na Tabela 10.

**Tabela 10.** Valores de temperaturas de picos obtidos a partir das análises de calorimetria exploratória diferencial para a farinha de trigo (FT), e para as tortas de cártamo (TC) e de girassol (TG).

	1º Pico Endotérmico	2º Pico Endotérmico	Pico exotérmico
FT	59,83 ± 0,56 <sup>b</sup>	78,90 ± 1,20 <sup>b</sup>	101,81 ± 1,36
TC	59,79 ± 0,48 <sup>b</sup>	*	*
TG	68,81 ± 2,11 <sup>a</sup>	95,77 ± 0,14 <sup>a</sup>	*

\* Não detectado na maioria das replicatas durante a realização da análise

Médias seguidas por letras iguais em uma mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 95%.

Fonte: Elaboração própria

A farinha de trigo apresentou dois picos endotérmicos e um exotérmico. O primeiro pico observado para a farinha de trigo pode ser atribuído a gelatinização do amido, onde a temperatura de gelatinização varia entre 60° e 80°C dependendo da fonte do amido, sendo comum uma temperatura próxima a 65°C para o amido presente na farinha de trigo (ARAÚJO et al., 2022; CIEÍLA; ELIASSON, 2005; MOHAMED; RAYAS-DUARTE, 2002), nesta pesquisa este pico foi observado à aproximadamente 60°C.

Com relação ao segundo pico endotérmico observado na farinha de trigo, próximo à 79°C, este pode ser atribuído à desnaturação e/ou polimerização das proteínas. Esse comportamento é comumente observado em diversas pesquisas contidas na literatura e usualmente ocorre entre 50 e 100°C a depender do produto avaliado, sendo comum uma temperatura próxima a 65-70°C para o amido presente na farinha de trigo (ARAÚJO et al., 2022; CIEÍLA; ELIASSON, 2005; JOVANOVIĆH et al., 1992; MOHAMED; RAYAS-DUARTE, 2002, ROUILLY et al., 2001).

Por fim, o pico exotérmico pode ser atribuído a fusão do complexo amilose-lipídio. Jovanovich et al. (1992) observaram um pico exotérmico referente a formação deste complexo ao aplicar DSC em farinha de trigo, amido e um complexo Amilose-

Lipídico isolado em temperaturas de 78°C para o amido e a farinha e 96°C para o isolado, valores um pouco inferiores aos observados neste estudo para a farinha de trigo. Cieíla e Eliassin (2005) também observaram um pico exotérmico a  $\pm 85^\circ\text{C}$  ao avaliar também por DSC farinha de trigo a um aquecimento de  $10^\circ\text{C min}^{-1}$ , e próximo a  $100^\circ\text{C}$  quando aplicada uma taxa de aquecimento de  $2,5^\circ\text{C min}^{-1}$ . Isso mostra que a temperatura do pico pode variar de acordo com os parâmetros utilizados durante a análise.

Para as ambas as amostras de tortas (cártamo e girassol) pôde-se observar a presença apenas dos picos endotérmicos (Tabela 10). Os dois picos endotérmicos apresentados pela torta de girassol foram similares aos encontrados por González-Pérez e colaboradores (2004) para heliantinina (proteína isolada da torta de girassol) em que o autor observou dois picos endotérmicos em 65 e  $90^\circ\text{C}$ , aproximadamente. O autor atribuiu ambos os picos a desnaturação das proteínas, sendo o primeiro pico ( $65^\circ\text{C}$ ) atribuído a desnaturação da proteína heliantinina na forma 7S e o segundo pico ( $90^\circ\text{C}$ ) a forma 11S, e afirmou que a desnaturação das proteínas foi independente da concentração da proteína isolada utilizada.

Rouilly et al. (2001) também avaliaram a degradação das proteínas do girassol através da metodologia de DSC e afirmaram que a degradação da proteína ocorre entre 50 e  $100^\circ\text{C}$  e nesta cultivar usualmente aparece próximo a  $95^\circ\text{C}$ , fato que corrobora ao pico observado na torta de girassol aqui analisada.

Apesar da semelhança dos resultados obtidos no presente estudo para torta de girassol com resultados obtidos para as proteínas isoladas caracterizadas por González-Pérez e colaboradores (2004) e Rouilly et al. (2001), é importante destacar que os picos observados para a torta de girassol no presente estudo podem ser atribuídos a degradação das proteínas, porém a presença de outros componentes com maiores porcentagens, como por exemplo, fibras e lipídios (Tabela 11), podem provocar alterações nas respostas observadas.

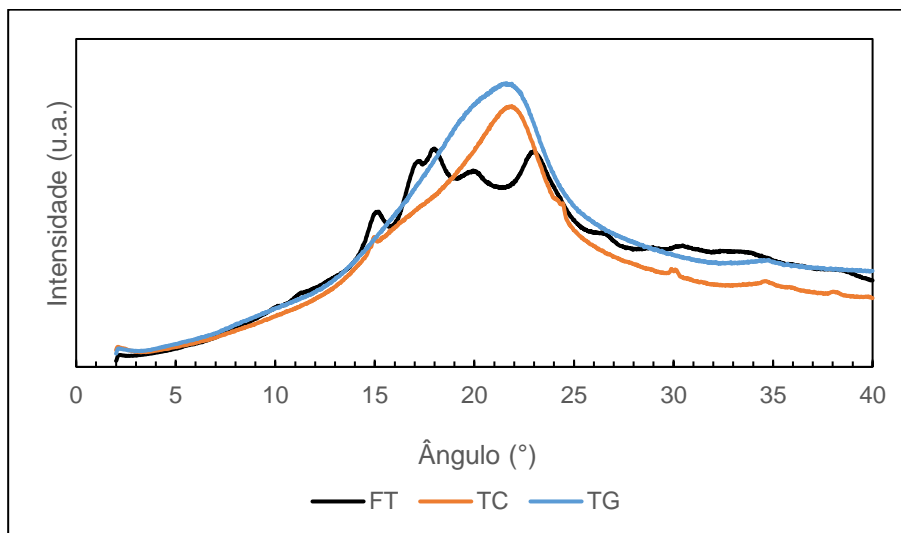
Não foram encontrados estudos relevantes sobre a resposta térmica da torta, óleo ou semente de cártamo na literatura, indicando a necessidade de aprofundamento na caracterização deste produto. A curva de DSC da torta de cártamo apresentou apenas um pico endotérmico em  $59,79^\circ\text{C}$  que poderia ser

atribuído também a degradação das proteínas, mas não é possível determinar a causa deste pico sem maiores estudos.

#### 5.1.8. Difração de raios-x

A partir do difratograma de raio-x (Figura 7) observou-se que a farinha de trigo apresentou picos característicos nos graus 15,2°, 17,3°, 18,2°, 20,1° e 23,0°, sendo possível distinguir a cristalinidade dos grânulos de amido presentes nela. De acordo com Sajilata et al. (2006) amidos podem ser divididos em três grupos. Amidos do tipo A apresentam picos de intensidade próximos a 15,3°; 17,1°; 18,2° e 23,5°; amidos do tipo B em aproximadamente 5,6°; 14,4°; 17,2°; 22,2° e 24,0°; e os do tipo C em aproximadamente 5,6°; 15,3°; 17,3° e 23,5°.

Pode-se ver grande similaridade dos picos da farinha de trigo com os picos referidos para amidos tipo A, o que está de acordo com as informações encontradas na literatura. Bello-Pérez *et al.* e Van Soest e Vligenthart (2006; 1997) atribuem o padrão de cristalinidade do tipo A como típico para cereais.



**Figura 7.** Difratogramas de raios-x da farinha de trigo (FT) e das tortas de cártamo (TC) e de girassol (TG).

Fonte: Elaboração própria

A torta de cártamo apresentou picos de intensidades leves nos graus 14,9°, 24,5°, 30,0° e 35,0° e um grau mais acentuado em 22° e a torta de girassol apresentou apenas um pico suave no grau 35,0° e um intenso em 22°. Portanto, as

tortas apresentaram 2 picos em comum, nos graus 35,0° e 22°. Não foram encontrados na literatura análises de raios x das tortas ou mesmo das sementes de cártamo e girassol.

Em difratogramas de raios x para o óleo de girassol, constatou-se respostas com picos diferentes dos aqui observados, contudo, foi possível visualizar pico intenso próximo a 22° (CALLIGARIS et al., 2008; LIU A' et al., 1996). Liu et al. (1996) ao avaliar o sedimento gerado por decantação do óleo de girassol obteve como resposta um pico de alta intensidade próximo a 22° (o maior do difratograma), mas não atribuiu a ele nenhuma explicação específica, apenas os classificou como “típico de cristais de cera de diferentes origens”.

Zhao et al. (2015) ao avaliarem proteína de soja em pó observaram picos em 9 e 20° e os atribuíram a proteínas. Na literatura encontra-se que os ângulos de pico da estrutura de  $\alpha$ -hélice e  $\beta$ -folha de proteínas em difratogramas de raios-X encontram-se em torno de 10° e 20°, respectivamente, e ainda que a intensidade de um pico pode refletir mudanças na estrutura de uma proteína, em que picos mais intensos denotam maior cristalinidade (BENDIT, 1960). Pode-se atribuir parcialmente o pico observado nas tortas (próximo a 22°) a proteínas com estrutura tipo  $\beta$ -folha, contudo, por ser um pico largo, iniciando em 15° e finalizando em 25°, devem ter influências de outras fontes.

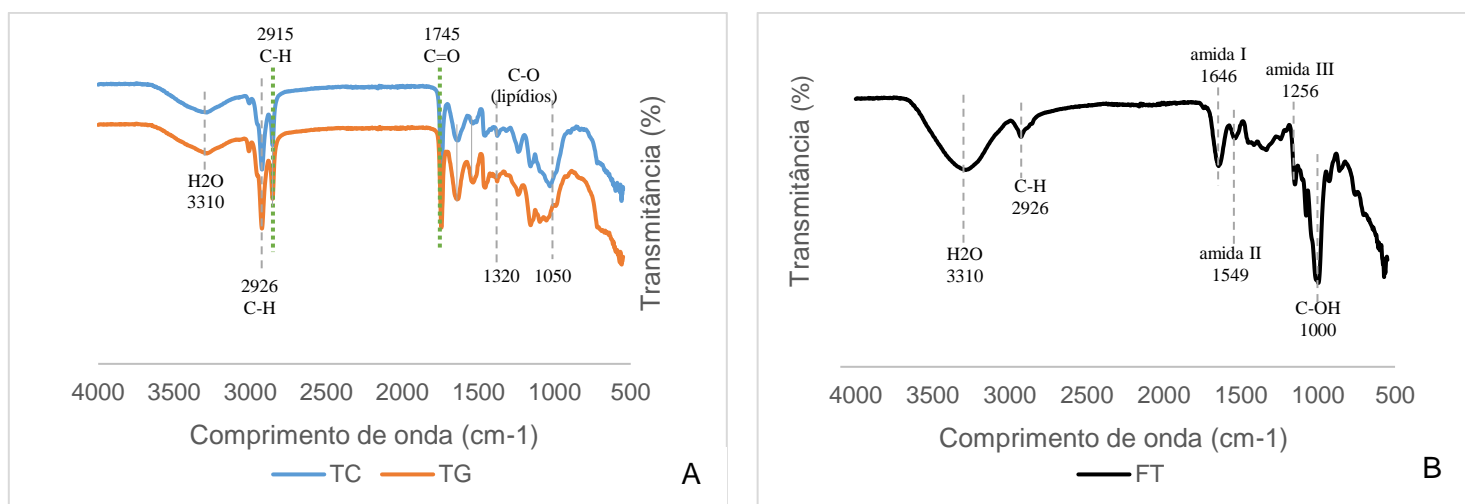
Em suma, não há um padrão de cristalinidade atribuído para os subprodutos das extrações de óleos e, ainda, existem variações na estrutura granular dos mesmos devido ao processo de extração que exigem um estudo mais detalhado.

#### *5.1.9. Espectroscopia de Infravermelhos por transformada de Fourier (FTIR)*

A espectroscopia de infravermelhos das tortas de girassol e cártamo apresentaram comportamento muito semelhantes, como pode ser visto na Figura 8. Para ambos os materiais observou-se uma grande área de absorção entre  $1055 < \text{cm}^{-1} < 1750$  e um pico em torno de  $2900 \text{ cm}^{-1}$  (Figura 8). As tortas apresentaram picos entre 1050 e 1300, sendo estes geralmente atribuídos à distensão C-O do grupo éster dos lipídios, e o pico próximo a  $3300 \text{ cm}^{-1}$  corresponde ao alongamento

simétrico e assimétrico da ligação O–H (H<sub>2</sub>O) (BRYSON et al., 2000; OSIRO; FRANCO; COLNAGO, 2011; THYGESEN et al., 2003).

Os picos de absorção observados entre 1600cm<sup>-1</sup> e 1760cm<sup>-1</sup> podem corresponder aos grupos C=O e –OH, estando presentes em aldeídos (R–C(=O)H), cetonas (R–C(=O)–R'), ácidos carboxílicos e ésteres; especificamente o pico 1745cm<sup>-1</sup> pode ser definido como característico dos lipídeos e se dá devido ao alongamento da ligação C=O dos ésteres e ao alongamento carbonila-lipídios (BRYSON et al., 2000; OSIRO; FRANCO; COLNAGO, 2011; THYGESEN et al., 2003). Picos entre 2850 e 2960 cm<sup>-1</sup> geralmente são atribuídos ao alongamento C–H, muito comuns em lipídios saturados (THYGESEN et al., 2003).



**Figura 8.** Espectros de FTIR (A) das tortas de cártamo (TC) e girassol (TG) e (B) da farinha de trigo (FT).

Fonte: Elaboração própria

As tortas apresentaram diversos picos entre 1320 e 1650, com picos bem definidos nos comprimentos de onda de 1464, 1541 e 1647 cm<sup>-1</sup>. Ogawa e Sato (2016), ao avaliarem o uso de espectroscopia para identificação e quantificação de compostos fenólicos observaram um pico em 1470 cm<sup>-1</sup> através da metodologia de FTIR no ácido gálico e na catequina e atribuíram a vibração de estiramento da ligação de C-OH nos fenóis e picos em 1440 e 1541 cm<sup>-1</sup> no ácido gálico e 1522 e 1629 cm<sup>-1</sup> na catequina e os associaram ao estiramento da ligação C=C de fenila (OGAWA; SATO, 2016).

Desta forma, os picos anteriormente citados das tortas nos comprimentos de onda de 1464, 1541 e 1647  $\text{cm}^{-1}$  podem ser correlacionados aos mencionados por Ogawa e Sato (2016) devido a presença de compostos fenólicos nas tortas. Contudo, como as tortas apresentam grande quantidade de lipídeos, o espectro de FTIR não é inteiramente confiável para identificar outros constituintes (como proteínas e compostos antioxidantes), sendo necessária uma análise específica para a identificação e quantificação desses compostos.

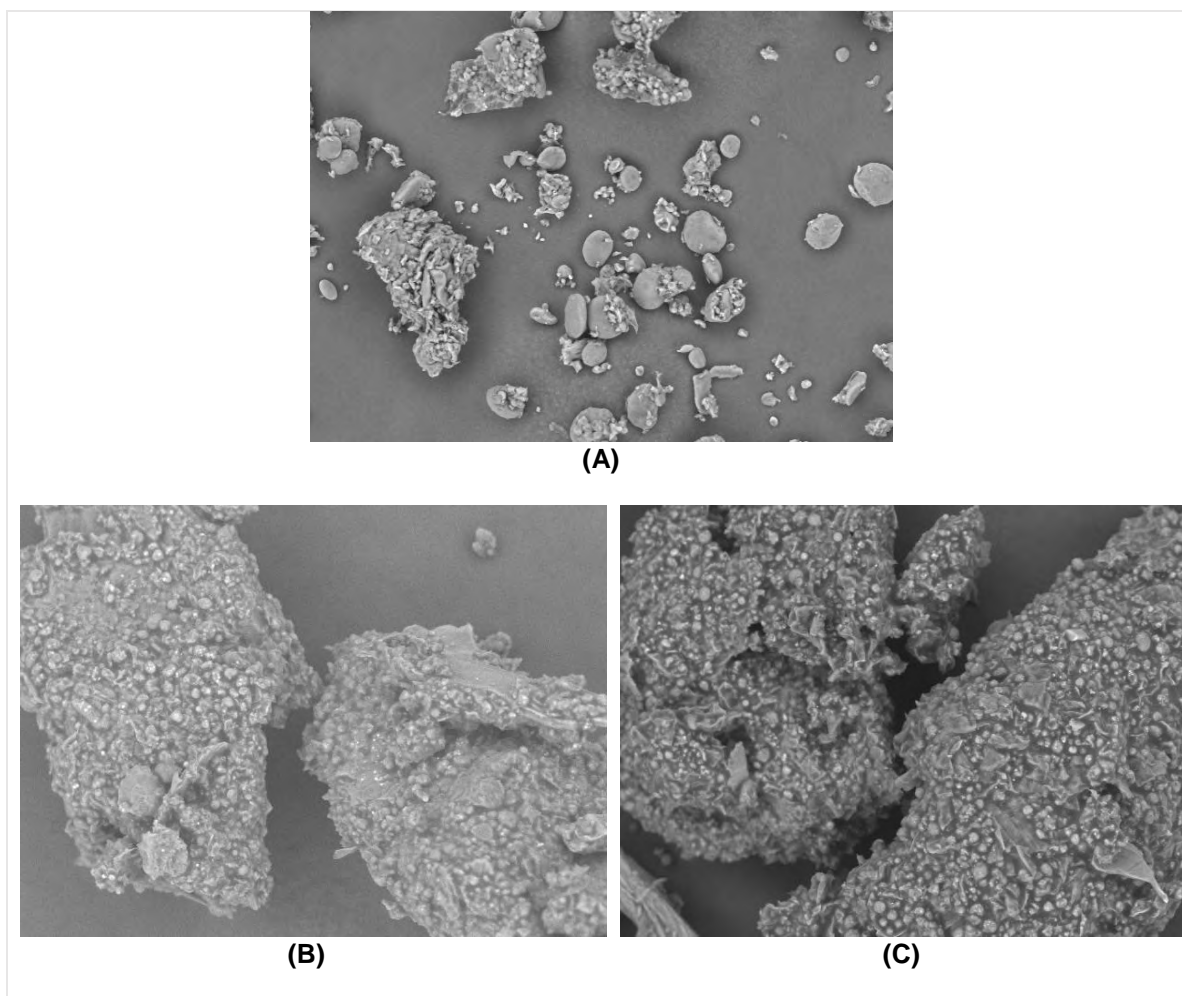
Os picos apresentados pela farinha de trigo (Figura 8B) estão de acordo com a literatura. Os picos mais intensos estão aproximadamente nos comprimentos de 1000 $\text{cm}^{-1}$ , 1650  $\text{cm}^{-1}$  e 3300 $\text{cm}^{-1}$  que correspondem ao alongamento da ligação C-OH amido, ao alongamento da ligação C=O do grupo Amida das proteínas (Amida I) e ao alongamento simétrico e assimétrico da ligação O-H (H<sub>2</sub>O), respectivamente (BELTON et al., 1995; BRYSON et al., 2000; FEENEY et al., 2003; FU et al., 1994; LI et al., 2006; PÉZOLET et al., 1992; PROPINEAU et al., 1994; PURCELL; KASARDA; WU, 1988; SAWER; KRUEGER, 1990; THYGESEN et al., 2003; WELLNER et al., 2005).

É possível observar picos não tão intensos, mas importantes para serem destacados, como o correspondente a amida II (flexão da ligação N-H do grupo amida das proteínas) próximo à 1550 $\text{cm}^{-1}$  e o pico da amida III (alongamento da ligação N-H e da flexão N-H do grupo amida das proteínas) próximo à 1245 $\text{cm}^{-1}$  (BELTON et al., 1995; BRYSON et al., 2000; FEENEY et al., 2003; FU et al., 1994; LI et al., 2006; PÉZOLET et al., 1992; PROPINEAU et al., 1994; PURCELL; KASARDA; WU, 1988; SAWER; KRUEGER, 1990; THYGESEN et al., 2003; WELLNER et al., 2005).

#### 5.1.10. *Morfologia*

A Figura 9 apresenta as micrografias referentes a torta de cártamo, torta de girassol e farinha de trigo. A farinha de trigo apresentou grânulos de formato irregulares e tamanhos diferentes, contudo é possível observar a predominância de grânulos de formato esférico-lenticular, que correspondem ao amido presente, estes grânulos de amido estão parte embutidos na matriz e parte soltos. Roman-Gutierrez,

Guilbert e Cuq (2002) atribuem estruturas mais abertas a farinha do tipo “trigo mole”. As partes agrupadas podem tanto caracterizar trigo do “tipo duro” como podem ser referentes a hidratação das farinhas (ROMAN-GUTIERREZ; GUILBERT; CUQ, 2002), sendo a segunda hipótese a mais provável nesta pesquisa.



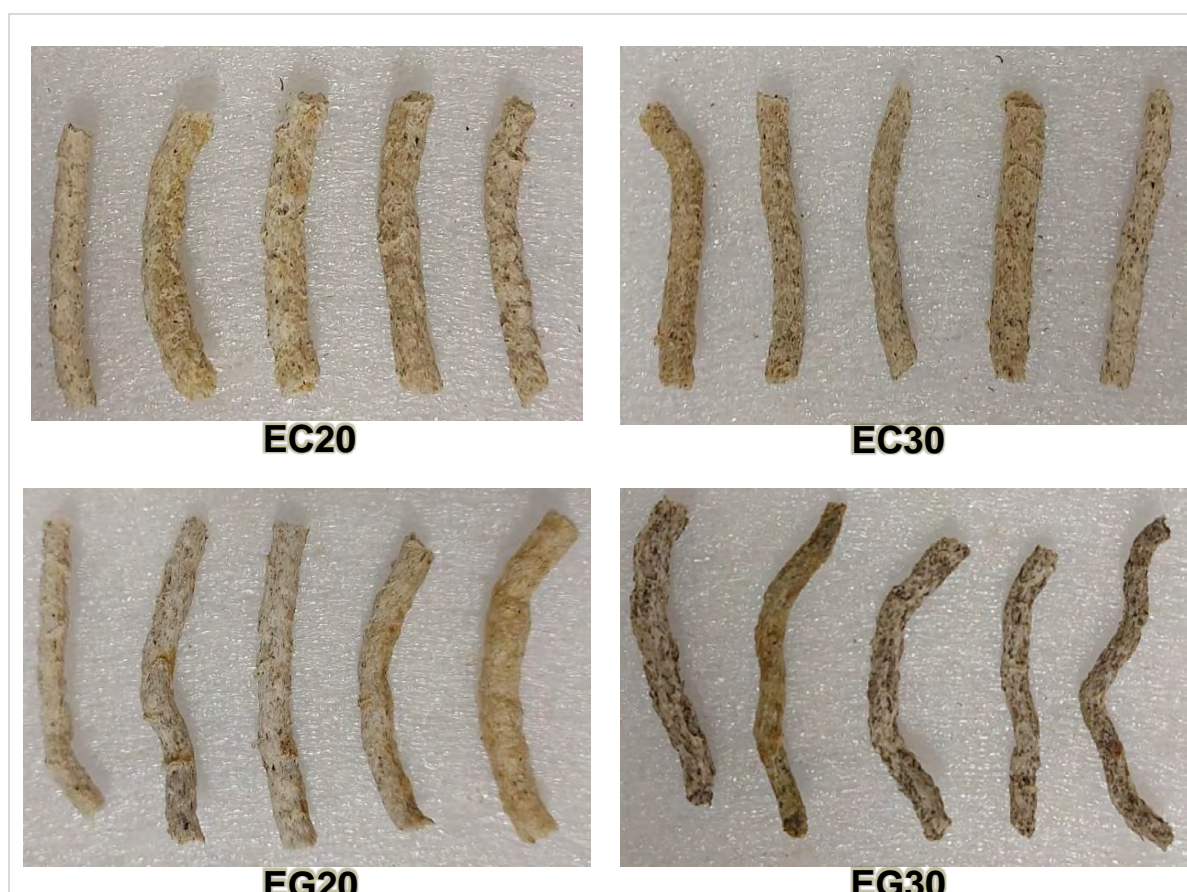
**Figura 9.** Microscopia eletrônica de varredura (MEV) x500 da farinha de trigo (A) e das tortas de cártamo (B) e de girassol (C).

As tortas de cártamo e girassol apresentaram morfologia parecidas entre si, com superfície irregular, rugosa e com aberturas rasas. As rugas apresentaram, em maioria, aspecto globular, que podem ser atribuídas as proteínas presentes nas tortas (DE MEDEIROS; PONTES, 2020). Ribeiro, Nascentes e Costa (2012), ao avaliarem torta de girassol por microscopia eletrônica de varredura observaram tratar-se de um “material fibroso com superfície irregular com poros grandes e rasos”,

muito semelhante ao visto nesta pesquisa, contudo os poros aqui observados manifestaram-se pequenos.

## 5.2. Extrusão

Os produtos obtidos através do processo de extrusão da farinha de trigo com tortas de cártamo e girassol em diferentes concentrações podem ser observados na Figura 10, visualmente já é possível observar uma maior expansão dos produtos extrusados com torta de cártamo (Figura 10).



**Figura 10.** Imagens dos produtos extrusados de farinha de trigo e torta de cártamo nas concentrações de 80:20 (EC20) e 70:30 (EC30) e de farinha de trigo e torta de girassol nas concentrações de 80:20 (EG20) e 70:30 (EG30).

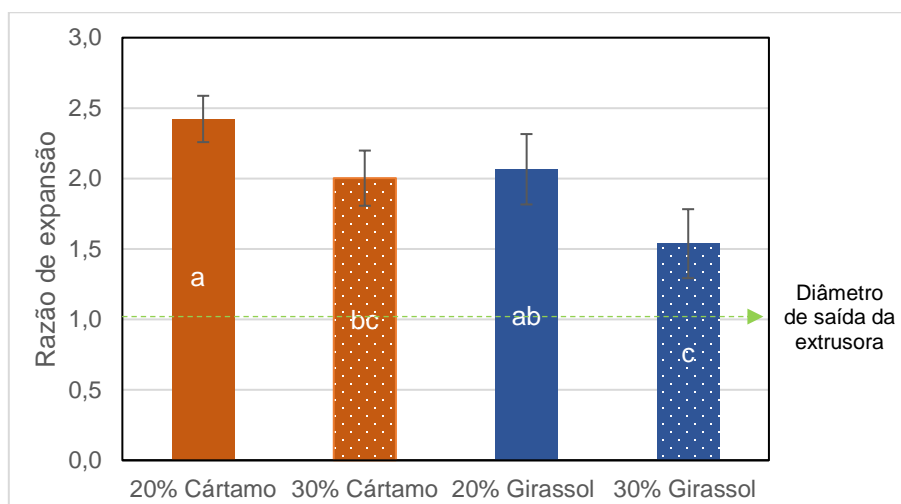
Fonte: Elaboração própria

É possível notar variações significativas nos resultados das razões de expansão (Figura 11). Hauck e Huber (1989) ao estudarem extrusoras de rosca simples e dupla afirmaram que extrusoras de rosca simples apresentam como



característica uma certa dificuldade em manter a estabilidade durante o processo de extrusão, ocasionando variações na densidade, cor e tamanho do extrusado final, fato que está de acordo com a oscilação observada na razão de expansão dos extrusados.

O aumento da quantidade de ambas as tortas nos extrusados resultou na diminuição significativa da razão de expansão dos extrusados. Os extrusados de farinha de trigo com torta de cártamo apresentaram maiores valores de razão de expansão, tendo o extrusado com 20% de cártamo apresentado maior índice de expansão. Os produtos com 30% de cártamo e 20% de girassol não diferiram significativamente entre si e o extrusado com 30% de girassol foi o que menor expandiu.



**Figura 11.** Razão de expansão dos produtos obtidos a partir do processo de extrusão das farinhas compostas com diferentes concentrações de torta de cártamo e girassol.

\*Letras iguais para diferentes colunas indicam que não há diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Fonte: Elaboração própria

A diminuição nos valores de expansão dos extrusados, em função do aumento da concentração de ambas as tortas, pode ser atribuída a redução na concentração de glúten e de amido presente na farinha de trigo, além do aumento da quantidade de lipídios presente na torta (THACHIL; CHOUKSEY; GUDIPATI, 2014). Thachil, Chouksey e Gudapati (2014) ao avaliarem a formação do complexo amilose-lipídio

durante o processo de extrusão de snacks de milho constataram que a diminuição da concentração de amilose resulta na diminuição da expansão dos extrusados.

A farinha de trigo é composta por 70 a 77% de amido e este amido é composto por 17 a 35% de amilose e 65 a 83% de amilopectina (BLAZEK; COPELAND, 2008; CZAJA; MAZUREK; SZOSTAK, 2016; LABUSCHAGNE; GELETA; OSTHOFF, 2007). A incorporação da torta de cártamo ou girassol conseqüentemente diminui a concentração de farinha de trigo, resultando em menores concentrações de amido e amilose e, portanto, menores valores de expansão dos produtos.

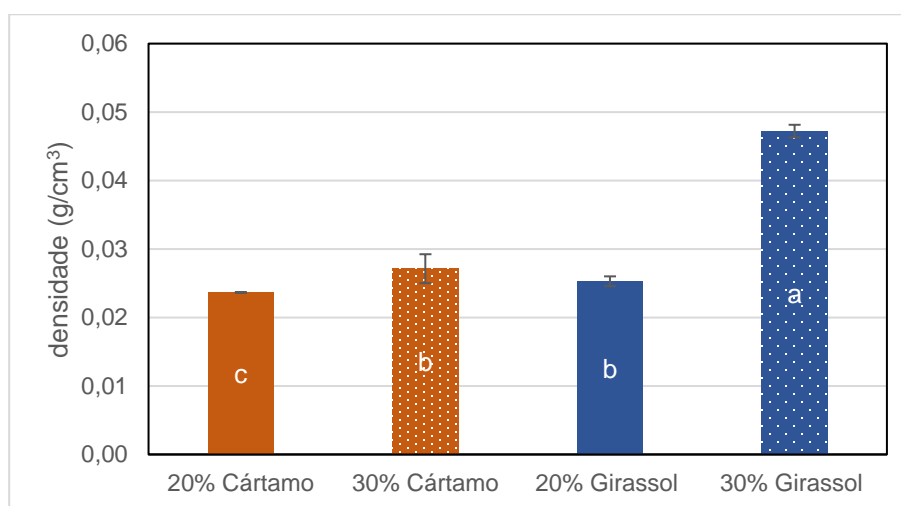
Thachil, Chouksey e Gudapati (2014) observaram, também, que o aumento da quantidade de lipídios reduziu a expansão de snacks extrusados a base de milho. Essa redução da expansão pode ser explicada devido ao aumento da formação do complexo amilose-lipídio durante o processo de extrusão, o que gera alteração na proporção de amilose e/ou amilopectina livres (pois existe uma proporção ótima de amilose e amilopectina que permite obter a expansão máxima dos amidos cozidos por extrusão), levando a produtos mais compactos (DE PILLI et al., 2008; THACHIL; CHOUKSEY; GUDIPATI, 2014).

As tortas de cártamo e girassol apresentam alta quantidade de extrato etéreo, sendo a concentração de lipídios da torta aqui utilizada próxima a 16% em base seca, enquanto que a quantidade de lipídios da farinha de trigo é inferior a 2,5% (MELIS; DELCOUR, 2020). A partir dos dados observados, o aumento da quantidade de tortas e, conseqüentemente, aumento da quantidade de lipídios da mistura a ser extrusada, pode também ser responsável pela diminuição da razão de expansão observada nessa pesquisa, pois a presença de lipídeos faz com que o material deslize dentro da extrusora, resultando em menor cisalhamento e menor pressão interna o que reduz a expansão.

Em relação a densidade aparente dos produtos extrusados, observa-se que o aumento da concentração das tortas provocou aumento significativo nos valores de densidade aparente (Figura 12). Pode-se verificar que a densidade aparente é inversamente proporcional a razão de expansão dos extrusados, isto é, o produto com maior razão de expansão (20% de torta de cártamo) apresentou menor

densidade e o com menor razão de expansão (30% de torta de girassol) apresentou maior densidade.

Para confirmar a relação linear entre a razão de expansão e a densidade do extrusado, realizou-se o teste de correlação de Pearson. A correlação de Pearson foi significativa ( $p < 0,05$ ) com correlação negativa forte (-0,91), isto é, à medida que um destes parâmetro aumenta, o outro diminui e vice-versa. Assim como visto para a razão de expansão, os produtos obtidos a partir do processo de extrusão com 30% de cártamo e 20% de girassol não apresentaram diferença significativa. Gujska e Khan (1990) também observaram em sua pesquisa sobre o efeito da temperatura nas propriedades de extrudados, a relação entre a razão de expansão e a densidade dos *snacks*;



**Figura 12.** Densidade dos extrusados ( $\text{g/cm}^3$ ) obtidos a partir do processo de extrusão das farinhas compostas com diferentes concentrações de torta de cártamo e girassol.

\*Letras iguais para diferentes colunas indicam que não há diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Fonte: Elaboração própria

A expansão do produto e sua densidade são características importantes para produtos extrusados, pois estes parâmetros influenciam no volume e principalmente na palatabilidade produto, pois modificam propriedades de textura como a dureza, mastigabilidade, fraturabilidade, elasticidade, entre outros (HARPER, 1981). Contudo, como a intenção do uso do processo de extrusão nesta pesquisa é melhorar a homogeneização entre os produtos, as características dos extrusados

apresenta pouca influência para o presente estudo, no entanto, são características de qualidade de produtos extrusados, pois indicam a texturização da massa e a eficiência do processo de extrusão.

### 5.3. Caracterização das farinhas compostas

A Figura 13 apresenta imagens das farinhas compostas produzidas utilizando-se mistura convencional ou a técnica de extrusão e moagem subsequente. É possível notar uma grande diferença visual entre as farinhas extrusadas e as misturadas, que será discutida posteriormente no tópico 5.3.3.

**Farinha composta com 80% FT e 20% TG**



**Extrusada    Misturada**

**Farinha composta com 70% FT e 30% TG**

**Farinha composta com 80% FT e 20% TC**



**Extrusada    Misturada**

**Farinha composta com 70% FT e 30% TC**



**Extrusada    Misturada**



**Extrusada    Misturada**

**Figura 13.** Comparação visual das farinhas compostas a base de farinha de trigo (FT) com torta de cártamo (TC) ou girassol (TG) extrusadas e misturadas.  
Fonte: Elaboração própria

### 5.3.1. *Composição centesimal e valor calórico*

Os resultados da composição centesimal obtidos para as farinhas compostas obtidas por extrusão e por mistura simples podem ser vistos na Tabela 11. Não se fez necessária a secagem das farinhas após a moagem dos extrusados, pois todas apresentaram teor de umidade de acordo com a legislação, ou seja, teor de umidade inferior a 15% (m/m) (FAO; WORD HEALTH ORGANIZATION, 1985).

As farinhas compostas produzidas por mistura convencional apresentaram concentração de proteínas significativamente superior as extrusadas. Uma diminuição de  $\pm 1\%$  de proteína bruta após o processo de extrusão foi observada quando comparadas as farinhas com a mesma concentração somente misturadas. Isso pode ser associado a reações do tipo Maillard entre o grupo amino livre e os açúcares redutores naturalmente presentes nos cereais (GULATI; BRAHMA; ROSE, 2020).

É válido ressaltar que um fator comum que ocorre durante o processo de extrusão é desnaturação das proteínas em função da temperatura utilizada no processo. Quando proteínas são submetidas a temperaturas altas pode ocorrer a desnaturação térmica e mecânica de proteínas, resultando no desdobramento de proteínas, devido à quebra das ligações de hidrogênio (GULATI; BRAHMA; ROSE, 2020). Esta desnaturação, em tese, pode aumentar a digestibilidade das proteínas remanescentes (CHEFTEL, 1986). Fapojuwo, Maga e Jansen (FAPOJUWO; MAGA; JANSEN, 1987) observaram aumento na digestibilidade das proteínas ao extrusarem sorgo à 200°C, subindo de 44,8% para 74,6% após o processo de extrusão. Assim, um estudo mais aprofundado sobre a digestibilidade das proteínas das farinhas compostas extrusadas aqui desenvolvidas se faz necessário para confirmar esse possível benefício.

A elaboração das farinhas compostas aumentou significativamente o conteúdo de fibras (Tabela 11), quando comparadas a farinha de trigo (0,72% de fibras). Ekunseitan et al. (2017) também obtiveram como resultado um aumento de fibras brutas ao desenvolverem farinha composta a base de trigo com adição de cogumelo e mandioca de alta qualidade.

**Tabela 11.** Composição centesimal (em base seca) e valor calórico das farinhas compostas com 20% de torta de cártamo extrusada (FC20E) e misturada (FC20M), 30% de torta de cártamo extrusada (FC30E) e misturada (FC30M), 20% de torta de girassol extrusada (FG20E) e misturada (FG20M) e 30% de torta de girassol extrusada (FG30E) e misturada (FG30M).

Formulação	Umidade (%)	Proteína Bruta (%)	Fibra Bruta (%)	Lipídios (%)	Carboidratos (%)	Cinzas (%)	Valor calórico (kcal/100g)
<b>FC20E</b>	7,99 ± 0,42 <sup>b</sup>	15,46 ± 0,10 <sup>c</sup>	6,24 ± 0,26 <sup>c</sup>	2,32 ± 0,05 <sup>d</sup>	74,91 ± 0,34 <sup>a</sup>	1,05 ± 0,03 <sup>a</sup>	381,69 ± 0,46 <sup>c</sup>
<b>FC30E</b>	8,05 ± 0,01 <sup>ab</sup>	16,79 ± 0,30 <sup>b</sup>	10,56 ± 0,51 <sup>a</sup>	3,74 ± 0,03 <sup>c</sup>	67,59 ± 0,31 <sup>c</sup>	1,35 ± 0,10 <sup>b</sup>	370,33 ± 0,44 <sup>d</sup>
<b>FC20M</b>	9,21 ± 0,51 <sup>a</sup>	16,33 ± 0,15 <sup>b</sup>	7,98 ± 0,36 <sup>c</sup>	4,92 ± 0,18 <sup>b</sup>	69,69 ± 0,33 <sup>b</sup>	1,07 ± 0,07 <sup>a</sup>	387,72 ± 0,91 <sup>b</sup>
<b>FC30M</b>	8,74 ± 0,45 <sup>ab</sup>	17,78 ± 0,30 <sup>a</sup>	9,11 ± 0,52 <sup>b</sup>	7,07 ± 0,05 <sup>a</sup>	64,53 ± 0,20 <sup>d</sup>	1,51 ± 0,12 <sup>b</sup>	392,03 ± 1,20 <sup>a</sup>
<b>FG20E</b>	7,91 ± 0,37 <sup>a</sup>	15,90 ± 0,24 <sup>d</sup>	5,39 ± 0,05 <sup>a</sup>	3,9 ± 0,07 <sup>d</sup>	73,76 ± 0,22 <sup>a</sup>	1,12 ± 0,07 <sup>a</sup>	393,01 ± 1,04 <sup>d</sup>
<b>FG30E</b>	7,46 ± 0,06 <sup>b</sup>	17,61 ± 0,07 <sup>b</sup>	5,15 ± 0,05 <sup>b</sup>	5,97 ± 0,04 <sup>c</sup>	69,89 ± 0,62 <sup>b</sup>	1,38 ± 0,08 <sup>b</sup>	402,93 ± 0,28 <sup>b</sup>
<b>FG20M</b>	9,19 ± 0,42 <sup>a</sup>	16,42 ± 0,25 <sup>c</sup>	7,42 ± 0,27 <sup>a</sup>	6,97 ± 0,10 <sup>b</sup>	67,92 ± 0,09 <sup>c</sup>	1,28 ± 0,11 <sup>ab</sup>	399,86 ± 0,33 <sup>c</sup>
<b>FG30M</b>	9,01 ± 0,10 <sup>a</sup>	18,37 ± 0,28 <sup>a</sup>	7,68 ± 0,23 <sup>a</sup>	9,56 ± 0,45 <sup>a</sup>	62,75 ± 0,70 <sup>d</sup>	1,64 ± 0,07 <sup>c</sup>	409,79 ± 0,38 <sup>a</sup>

Para farinhas com uma mesma torta, médias seguidas por letras minúsculas iguais em uma mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%.

Fonte: Elaboração própria

As farinhas compostas com 30% de torta de cártamo (extrusada e misturada) apresentaram conteúdo de fibras significativamente maior as demais farinhas avaliadas. O mesmo comportamento foi observado por Buendía-Rodríguez et al. (2019), que ao incorporarem torta de cártamo na dieta de ruminantes notaram um aumento significativo de fibras ao aumentar a quantidade de subproduto na ração.

O processo de extrusão não apresentou um padrão de influência sobre o conteúdo de fibras nas farinhas compostas com torta de cártamo, onde a farinha composta extrusada com 20% de torta de cártamo não sofreu influência significativa, já a farinha com 30% de torta de cártamo apresentou um aumento significativo na quantidade de fibras em decorrência do processo de extrusão, em comparação a farinha composta similar misturada convencionalmente.

Vasanthan et al. (2002) sugerem que o aumento do teor de fibras dietéticas totais pode estar associado a formação de amido resistente (RS3, amilose retrógrada), fato que poderia explicar o aumento observado nessa pesquisa pois a fibra bruta incorpora também as fibras dietéticas em seu resultado, contudo o autor ressalta que existem relatos contraditórios sobre a presença de RS3 em fibras dietéticas totais de farinha de trigo extrusada.

A torta de girassol apresentou maior concentração de lipídios que a torta de cártamo (Tabela 4), logo, as farinhas compostas com torta de girassol apresentaram maior conteúdo de lipídios comparada as farinhas compostas com torta de cártamo. O processo de extrusão diminuiu significativamente a concentração de lipídios presentes nas farinhas. Cheftel (1986) observou fato semelhante em seu estudo e afirmou que os produtos extrusados apresentam, na maioria das vezes, quantidade de lipídios inferiores a 7%, quando utilizadas extrusoras de rosca única, fato este reafirmado por esta pesquisa, onde as farinhas extrusadas apresentaram quantidade de lipídios inferior a 6% para a farinha composta com 30% de torta de girassol e inferior a 4% para as demais farinhas compostas extrusadas. Esse fato pode estar atribuído a perda de lipídeos das amostras durante o processo de extrusão, conforme detalhado previamente.



Nesta pesquisa, em particular, o excesso de lipídios da torta de girassol foi expelido pelo bico da extrusora, como pode ser visto na Figura 14, o que explica a maior redução de lipídios observada nas farinhas compostas com torta de girassol.

As tortas apresentaram teor de carboidratos significativamente inferior a farinha de trigo, logo, a elaboração das farinhas compostas diminuiu significativamente a quantidade de carboidratos, quando comparadas a farinha de trigo. Kayitesi et al. (2012) alcançaram uma diminuição de 20g de carboidratos a cada 100g de farinha composta com feijão, ao comparar com o farelo de sorgo utilizado como base da farinha composta por eles desenvolvida.



**Figura 14.** Extrusora expelindo lipídios ao extrusar a formulação com torta de girassol  
Fonte: Elaboração própria

O uso do processo de extrusão resultou em farinhas compostas com teor de carboidratos significativamente superior comparadas as mesmas farinhas produzidas por mistura convencional. Entretanto esse aumento ocasionado pelo processo de extrusão pode ser atribuído a diminuição dos demais componentes, como lipídios e proteínas anteriormente discutidos, que resultam em um aumento na porcentagem de outros componentes, neste caso em específico, dos carboidratos.

A torta de girassol apresentou uma concentração de cinzas significativamente superior a torta de cártamo (Tabela 4), contudo, quando inseridas nas farinhas compostas, não houve diferença significativa entre formulações semelhantes, isto é,

as farinhas compostas, obtidas pela metodologia de mistura simples, com 20 e 30% de torta de girassol não apresentaram diferença significativa das farinhas compostas com 20 e 30% de torta de cártamo, respectivamente (Tabela 11). O mesmo foi observado para farinhas compostas obtidas pela metodologia de extrusão.

O processo de extrusão não apresentou influência significativa na concentração de cinzas das farinhas compostas, com exceção da farinha composta extrusada com 30% de girassol (FG30E≠FG30M). Killeit (1994) afirma que dentre os benefícios do processo de extrusão está o aumento da biodisponibilidade de vitaminas e minerais (componentes das cinzas), mas uma possível destruição destes devido a severidade dos parâmetros utilizados durante o processo. Nota-se que os parâmetros de extrusão utilizados nesta pesquisa não surtiram efeito na concentração de minerais, indicando que os parâmetros de extrusão foram bem definidos, considerando este aspecto apenas.

Ambas as tortas apresentarem um valor calórico inferior ao da farinha de trigo (Tabela 4), e 3 formulações de farinhas compostas desenvolvidas com torta de cártamo (20% de torta, ambos os métodos e 30% extrusada) apresentaram valor calórico significativamente inferior a farinha de trigo. As formulações com torta de girassol apresentaram alto valor calórico devido a quantidade de proteínas e lipídios presentes nesta, entretanto é válido ressaltar que proteínas auxiliam várias funções importantes no organismo humano como: transporte de oxigênio, proteção do corpo contra agentes externos, catalisar reações químicas, contração muscular, crescimento e formação dos hormônios, entre outros; e os lipídios são importantes para o metabolismo humano e, somente em excesso causam efeitos prejudiciais à saúde (BJÖRCK; ASP; DAHLQVIST, 1984; CAVALLIERI; CUNHA, 2003; MOSCATTO; FERREIRA; HAUALY, 2004; NÁTHIA-NEVES; ALONSO, 2021) enquanto o valor calórico da farinha de trigo é, quase que completamente, resultado da quantidade de carboidratos.

Os valores energéticos das farinhas compostas estão dentro da variação de valores observados na literatura para farinhas já amplamente consumidas, tais como as farinhas de mandioca, milho, aveia, soja e amêndoa com valores energéticos de 364, 372, 386, 452 e 578 kcal/100g, respectivamente (USDA - U.S. DEPARTMENT

OF AGRICULTURE, 2023). Portanto, as farinhas compostas aqui analisadas apresentaram bom desempenho quando ao valor nutricional e calórico, podendo ser consideradas adequadas para inserção na dieta humana.

### 5.3.2. *Minerais*

O conteúdo de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) das farinhas compostas elaboradas podem ser vistos na Tabela 12.

No geral, a elaboração de farinhas compostas resultou em um aumento significativo em todos os minerais, quando comparadas a farinha de trigo comercial (Tabela 5), sendo esse aumento bastante expressivo em farinhas misturadas.

O processo de extrusão afetou significativamente a concentração de quase todos os minerais analisados nas farinhas compostas com torta de cártamo, resultando na diminuição destes minerais (com exceção do K que não apresentou diferença significativa). Nas formulações com torta de girassol, o processo de extrusão diminuiu significativamente as concentrações de quase todos os minerais analisados também (com exceção do Ca e do S). Os microminerais foram mais afetados pelo processo de extrusão, onde esse processo reduziu até 50% a concentração dos componentes deste grupo de minerais em farinhas semelhantes.

O comportamento citado anteriormente corrobora com os dados contidos na literatura. Petraru, Ursachi e Amariei (2021) observaram uma diminuição significativa na concentração dos mesmos minerais aqui analisados em uma torta de girassol extrusada, com exceção do magnésio que aumentou a concentração. Não se sabe ao certo a causa da diminuição de minerais pelo processo de extrusão, afinal esses compostos são estáveis ao calor e é improvável que se percam no cisalhamento da matriz. Sabe-se que o processo de extrusão afeta macromoléculas, fato que foi reafirmado pelos resultados discutidos nesta pesquisa (tópico 5.3.1), e moléculas menores podem ser impactadas pelo próprio processo de extrusão ou até mesmo por mudanças em moléculas maiores, que por sua vez afetam outros compostos presentes no alimento (SINGH; GAMLATH; WAKELING, 2007).

**Tabela 12.** Conteúdo de minerais das formulações de farinha composta desenvolvidas com 20% de torta de cártamo extrusada (FC20E) e misturada (FC20M), 30% de torta de cártamo extrusada (FC30E) e misturada (FC30M), 20% de torta de girassol extrusada (FG20E) e misturada (FG20M) e 30% de torta de girassol extrusada (FG30E) e misturada (FG30M).

Mineral	Unid.	Formulações							
		FC20E	FC30E	FC20M	FC30M	FG20E	FG30E	FG20M	FG30M
<b>P</b>		1,19 ± 0,02 <sup>c</sup>	1,37 ± 0,02 <sup>b</sup>	1,29 ± 0,04 <sup>b</sup>	1,71 ± 0,04 <sup>a</sup>	1,45 ± 0,00 <sup>d</sup>	1,74 ± 0,02 <sup>b</sup>	1,61 ± 0,02 <sup>c</sup>	2,14 ± 0,02 <sup>a</sup>
<b>K</b>		5,78 ± 0,14 <sup>b</sup>	6,84 ± 0,14 <sup>a</sup>	6,24 ± 0,00 <sup>b</sup>	7,03 ± 0,14 <sup>a</sup>	5,40 ± 0,14 <sup>c</sup>	6,10 ± 0,00 <sup>b</sup>	6,10 ± 0,14 <sup>b</sup>	7,48 ± 0,14 <sup>a</sup>
<b>Ca</b>	<b>g.kg<sup>1</sup></b>	1,73 ± 0,12 <sup>b</sup>	2,13 ± 0,29 <sup>b</sup>	1,74 ± 0,11 <sup>b</sup>	2,58 ± 0,16 <sup>a</sup>	1,59 ± 0,43 <sup>a</sup>	1,74 ± 0,18 <sup>a</sup>	1,38 ± 0,06 <sup>a</sup>	1,74 ± 0,06 <sup>a</sup>
<b>Mg</b>		0,16 ± 0,07 <sup>d</sup>	0,72 ± 0,07 <sup>b</sup>	0,38 ± 0,07 <sup>c</sup>	1,33 ± 0,10 <sup>a</sup>	0,57 ± 0,12 <sup>d</sup>	1,17 ± 0,02 <sup>b</sup>	0,83 ± 0,06 <sup>c</sup>	1,88 ± 0,06 <sup>a</sup>
<b>S</b>		5,44 ± 0,71 <sup>bc</sup>	4,94 ± 0,50 <sup>c</sup>	6,26 ± 0,42 <sup>ab</sup>	6,60 ± 0,32 <sup>a</sup>	5,28 ± 0,77 <sup>a</sup>	6,14 ± 0,53 <sup>a</sup>	5,76 ± 0,72 <sup>a</sup>	6,46 ± 0,96 <sup>a</sup>
<b>Cu</b>		0,71 ± 0,90 <sup>b</sup>	1,01 ± 0,10 <sup>b</sup>	10,23 ± 0,49 <sup>a</sup>	12,55 ± 4,31 <sup>a</sup>	ND	ND	7,74 ± 0,26 <sup>b</sup>	12,49 ± 0,35 <sup>a</sup>
<b>Fe</b>	<b>mg.kg<sup>1</sup></b>	117,45 ± 6,93 <sup>d</sup>	146,57 ± 1,56 <sup>c</sup>	172,86 ± 2,69 <sup>b</sup>	241,70 ± 7,35 <sup>a</sup>	89,28 ± 1,00 <sup>c</sup>	140,67 ± 0,71 <sup>b</sup>	167,01 ± 1,34 <sup>b</sup>	224,42 ± 24,52 <sup>a</sup>
<b>Mn</b>		12,51 ± 1,39 <sup>b</sup>	9,63 ± 0,1,27 <sup>b</sup>	26,90 ± 0,76 <sup>a</sup>	25,55 ± 4,35 <sup>a</sup>	3,69 ± 0,40 <sup>c</sup>	3,35 ± 0,55 <sup>c</sup>	27,31 ± 0,56 <sup>b</sup>	28,60 ± 0,29 <sup>a</sup>
<b>Zn</b>		63,91 ± 0,33 <sup>c</sup>	59,20 ± 0,83 <sup>d</sup>	103,66 ± 1,08 <sup>b</sup>	110,58 ± 4,74 <sup>a</sup>	45,76 ± 0,02 <sup>c</sup>	46,04 ± 0,17 <sup>c</sup>	109,55 ± 0,93 <sup>b</sup>	130,23 ± 1,11 <sup>a</sup>

Para farinhas com uma mesma torta, médias seguidas por letras minúsculas iguais em uma mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Fonte: Elaboração própria

De acordo com Gulati, Brahma e Rose (2020), o processo de extrusão pode afetar tanto positiva quanto negativamente a quantidade e disponibilidade de minerais; onde resultados contraditórios podem ser encontrados na literatura por diferentes pesquisas, sendo esse fato atribuído às diferentes técnicas usadas para determinar a quantidade e medir a bioacessibilidade ou devido a diferentes matérias-primas usadas na extrusão (GULATI; BRAHMA; ROSE, 2020).

### 5.3.3. Cor

Os parâmetros de cor das farinhas compostas podem ser observados na Tabela 13. É possível notar que o parâmetro com maior variação entre as farinhas compostas e a farinha de trigo foi a luminosidade.

De maneira geral, a incorporação de tortas na produção de farinhas compostas provocou diminuição da luminosidade e aumento da intensidade dos parâmetros  $a^*$  e  $b^*$  das farinhas compostas produzidas por mistura convencional e as farinhas com torta de cártamo apresentaram maior luminosidade quando comparadas com as farinhas com torta de girassol. Esse resultado era esperado, pois a elaboração de farinhas compostas utilizando farinha de trigo como base, na maioria das vezes, resulta em diminuição da luminosidade e variação da cor, devido a coloração branco/clara da farinha de trigo. Este mesmo comportamento foi observado por Agrahar-Murugkr e colaboradores (2016), ao desenvolverem farinha composta com farinha de trigo, milho-miúdo maltado, soja germinada e amaranto, em que a luminosidade das amostras diminuiu de 65,39 para 45,05, o parâmetro  $a^*$  aumentou de 1,81 para 6,76 e o  $b^*$  diminuiu de 25,20 para 19,48.

O uso do processo de extrusão para a produção das farinhas compostas provocou diminuição significativa nos valores de luminosidade (L) e aumento nos valores dos parâmetros  $a^*$  e  $b^*$  quando comparado as farinhas compostas produzidas por mistura convencional. Badrie e Mellowes (1991), ao extrusarem mandioca, observaram que os parâmetros L e  $b^*$  das amostras sofreram influência direta do processo de extrusão, principalmente devido à alta temperatura do processo, e atribuíram este efeito a reação de Maillard.

Pode-se verificar, ainda, que o uso do processo de extrusão para a produção das farinhas provocou um aumento significativo na diferença de cor das amostras. Hagenimana, Ding e Fang (2006), ao extrusarem farinha de arroz, observaram que a variação total de cor ocasionada pelo processo de extrusão depende principalmente de altas temperaturas, mas também de baixo teor de umidade.

**Tabela 13.** Parâmetro de cor das farinhas compostas desenvolvidas com 20% de torta de cártamo pelo processo de extrusão (FC20E) e mistura convencional (FC20M), 30% de torta de cártamo pelo processo de extrusão (FC30E) e mistura convencional (FC30M), 20% de torta de girassol pelo processo de extrusão (FG20E) e mistura convencional (FG20M) e 30% de torta de girassol pelo processo de extrusão (FG30E) e mistura convencional (FG30M).

Formulação	L	a*	b*
<b>FC20E</b>	66,42 ± 2,16 <sup>b</sup>	2,10 ± 0,21 <sup>b</sup>	15,21 ± 0,24 <sup>b</sup>
<b>FC30E</b>	67,25 ± 0,86 <sup>b</sup>	4,92 ± 0,21 <sup>a</sup>	22,07 ± 0,71 <sup>a</sup>
<b>FC20M</b>	83,54 ± 0,30 <sup>a</sup>	1,54 ± 0,10 <sup>c</sup>	10,26 ± 0,67 <sup>d</sup>
<b>FC30M</b>	81,74 ± 0,87 <sup>a</sup>	1,07 ± 0,16 <sup>d</sup>	12,27 ± 0,67 <sup>c</sup>
<b>FG20E</b>	72,19 ± 0,89 <sup>c</sup>	2,65 ± 0,17 <sup>b</sup>	18,94 ± 0,99 <sup>a</sup>
<b>FG30E</b>	60,92 ± 0,54 <sup>d</sup>	3,38 ± 0,25 <sup>a</sup>	17,93 ± 0,28 <sup>a</sup>
<b>FG20M</b>	83,04 ± 0,19 <sup>a</sup>	0,61 ± 0,01 <sup>c</sup>	7,14 ± 0,17 <sup>b</sup>
<b>FG30M</b>	76,59 ± 0,77 <sup>b</sup>	0,26 ± 0,06 <sup>c</sup>	7,83 ± 0,28 <sup>b</sup>

Para farinhas com uma mesma torta, médias seguidas por letras minúsculas iguais em uma mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Fonte: Elaboração própria

A Figura 15 apresenta a imagem e as cores através da conversão das escalas para diferentes farinhas compostas produzidas, a fim de possibilitar um melhor entendimento da cor real, sem influência da luminosidade ou ângulo da foto.



**Figura 15.** Produto e cor correspondente das farinhas compostas desenvolvidas com 20% de torta de cártamo extrusada (FC20E) e misturada (FC20M), 30% de torta de cártamo extrusada (FC30E) e misturada (FC30M), 20% de torta de girassol extrusada (FG20E) e misturada (FG20M) e 30% de torta de girassol extrusada (FG30E) e misturada (FG30M).

Fonte: Elaboração própria

Em suma, através do resultado da análise de cor é possível afirmar as farinhas compostas apresentaram uma cromaticidade tendendo ao vermelho e amarelo, com os valores de  $a^*$  bem próximos de zero e os valores de  $b^*$  baixos, assim como a farinha de trigo e as tortas. Reafirmando que o parâmetro de maior influência na diferença de cor foi a luminosidade.

#### 5.3.4. Atividade de água e pH

A atividade de água e o pH das farinhas compostas podem ser vistas na Tabela 14. As farinhas compostas extrusadas apresentaram baixa atividade de água ( $\leq 0,60$ ) e as farinhas compostas misturadas apresentaram, no geral, atividade de água intermediária (entre 0,6 e 0,9) (GRANT et al., 2004; TROLLER; CHRISTIAN, 1978). Apesar dessa diferença na atividade de água das farinhas compostas, todas as respostas são satisfatórias, sendo estes iguais ou inferiores as obtidas neste estudo para a da farinha de trigo comercial (Tabela 6).

**Tabela 14.** Atividade de água ( $A_w$ ) e pH das farinhas compostas desenvolvidas com 20% de torta de cártamo pelo processo de extrusão (FC20E) e mistura convencional (FC20M), 30% de torta de cártamo pelo processo de extrusão (FC30E) e mistura convencional (FC30M), 20% de torta de girassol pelo processo de extrusão (FG20E) e mistura convencional (FG20M) e 30% de torta de girassol pelo processo de extrusão (FG30E) e mistura convencional (FG30M)

Farinha	pH	$A_w$
FC20E	5,86 $\pm$ 0,02 <sup>b</sup>	0,48 $\pm$ 0,00 <sup>d</sup>
FC30E	5,46 $\pm$ 0,01 <sup>c</sup>	0,60 $\pm$ 0,00 <sup>b</sup>
FC20M	6,17 $\pm$ 0,00 <sup>a</sup>	0,73 $\pm$ 0,00 <sup>a</sup>
FC30M	6,09 $\pm$ 0,07 <sup>a</sup>	0,58 $\pm$ 0,00 <sup>c</sup>
FG20E	5,89 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	0,49 $\pm$ 0,00 <sup>d</sup>
FG30E	5,24 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>	0,55 $\pm$ 0,00 <sup>c</sup>
FG20M	6,08 $\pm$ 0,07 <sup>a</sup>	0,73 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>
FG30M	6,13 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>	0,64 $\pm$ 0,00 <sup>b</sup>

Para farinhas com uma mesma torta, médias seguidas por letras minúsculas iguais em uma mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Fonte: Elaboração própria

Em relação ao pH das farinhas compostas é possível observar uma pequena, porém significativa, redução no pH ao utilizar a metodologia de extrusão.



Cerón-Fernandez et al. (2015) avaliaram a influência do processo de extrusão sobre farinhas de quinoa e observaram uma grande variação neste parâmetro (entre 2,87 e 4,59 para a variedade 'Blanca de Jericó' e 3,45 e 4,51 para a variedade 'Tunkahuan') a depender da temperatura de extrusão e a umidade das amostras a serem extrusadas; a elevação da temperatura (máximo 105°C) e o aumento da umidade (máximo 30%) geraram farinhas com pH mais ácidos.

Desta forma, pode-se supor que os parâmetros utilizados neste estudo, principalmente a temperatura elevada, foram os fatores que influenciaram na diminuição do pH das farinhas compostas extrusadas. O pH de farinhas é um fator importante e deve ser avaliado pois influencia diretamente algumas propriedades funcionais como a capacidade de absorção e solubilidade em água, por exemplo: farinhas com pH mais alto tem maior solubilidade em água (GOMES et al., 2006).

Apesar das farinhas compostas misturadas terem apresentado  $A_w$  e pH superiores aos das farinhas compostas extrusadas, os resultados observados são satisfatórios, sendo a  $A_w$  observada igual a farinha de trigo comercial aqui avaliada e dentro dos limites encontrados para pH de farinha de trigo na literatura (não encontrou-se valores para esse parâmetro na legislação): pH entre 6 e 6,8 (FRANCO; PINTO, 2016; ICTA, 2023).

### *5.3.5. Compostos fenólicos e flavonoides*

As farinhas compostas elaboradas com torta de girassol, independentemente do método, não apresentaram teores quantificáveis de flavonoides, como já se era esperado devido à baixa concentração deste composto na torta de girassol (

Tabela 15).

O processo de extrusão ocasionou uma diminuição significativa na concentração de compostos fenólicos e flavonoides. Este fato já era esperado devido a termo sensibilidade destes compostos, isto é, processos térmicos são capazes de causar reações como a liberação de compostos fenólicos ligados à matriz, polimerização, oxidação, degradação térmica e/ou transformação de compostos fenólicos mais simples (DUODU, 2011).

**Tabela 15.** Compostos fenólicos (CF) em equivalentes de ácido gálico por g de farinha (mg EAG g<sup>-1</sup>) e flavonoides (FLV) em equivalentes de quercitina por g de farinha (mg EQ g<sup>-1</sup>) das farinhas compostas desenvolvidas com 20% de torta de cártamo pelo processo de extrusão (FC20E) e mistura convencional (FC20M), 30% de torta de cártamo pelo processo de extrusão (FC30E) e mistura convencional (FC30M), 20% de torta de girassol pelo processo de extrusão (FG20E) e mistura convencional (FG20M) e 30% de torta de girassol pelo processo de extrusão (FG30E) e mistura convencional (FG30M)

Formulação	Compostos fenólicos	Flavonoides
	(mg EAG g <sup>-1</sup> )	(mg EQ g <sup>-1</sup> )
<b>FC20E</b>	9,25 ± 0,74 <sup>c</sup>	0,31 ± 0,03 <sup>ab</sup>
<b>FC30E</b>	12,22 ± 0,06 <sup>b</sup>	0,14 ± 0,01 <sup>c</sup>
<b>FC20M</b>	11,70 ± 0,39 <sup>b</sup>	0,26 ± 0,00 <sup>b</sup>
<b>FC30M</b>	15,17 ± 0,78 <sup>a</sup>	0,39 ± 0,01 <sup>a</sup>
<b>FG20E</b>	7,75 ± 0,40 <sup>c</sup>	*
<b>FG30E</b>	11,49 ± 0,55 <sup>b</sup>	*
<b>FG20M</b>	11,43 ± 0,30 <sup>b</sup>	*
<b>FG30M</b>	16,37 ± 0,81 <sup>a</sup>	*

\*valores abaixo da curva analítica. CF<0,13mg EAG g<sup>-1</sup> e FLV<0,08 mg EQ g<sup>-1</sup>.  
 Para farinhas com uma mesma torta, médias seguidas por letras minúsculas iguais em uma mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey.  
 Ambos os testes ao nível de significância de 5%.

Fonte: Elaboração própria

Essa degradação de compostos fenólicos pelas condições severas do processo de extrusão também foi observada por Punia Bangar et al. (2022), Chávez et al. (2017) e Song, Shao e Chen (2022) ao extrusarem farinha de cevada, sorgo e quinoa, respectivamente, sendo a temperatura do processo e a umidade da amostra os fatores de maior influência na degradação do composto. Song, Shao e Chen (2022) por exemplo, avaliaram a influência da temperatura de extrusão na concentração de compostos fenólicos de quinoa vermelha (18,07 mgEAG/g) e observou que a maior degradação foi em temperatura de 140°C (11,83 mgEAG/g) e a menor em 120°C (12,99 mgEAG/g).

### 5.3.6. Atividade Antioxidante

A atividade antioxidante obtida de acordo com os métodos de DPPH, FRAP e ORAC para as diferentes farinhas compostas produzidas pode ser vista na Tabela 16. As farinhas compostas apresentaram atividade antioxidante superiores a farinha

de trigo para todas as formulações avaliadas (Tabela 16) independente da torta utilizada ou método de homogeneização nas três metodologias de quantificação aplicadas.

As farinhas obtidas através do processo de extrusão apresentaram atividade antioxidante maior ou igual as misturadas quando avaliadas pela metodologia de DPPH.

**Tabela 16.** Atividade antioxidante das farinhas compostas desenvolvidas com 20% de torta de cártamo pelo processo de extrusão (FC20E) e mistura convencional (FC20M), 30% de torta de cártamo pelo processo de extrusão (FC30E) e mistura convencional (FC30M), 20% de torta de girassol pelo processo de extrusão (FG20E) e mistura convencional (FG20M) e 30% de torta de girassol pelo processo de extrusão (FG30E) e mistura convencional (FG30M) resultados expressos em base seca.

Formulação	DPPH EC50	FRAP	ORAC
	(mg / L)	( $\mu$ mol Trolox Eq /g am)	( $\mu$ mol Trolox Eq /g am)
<b>FC20E</b>	0,07 $\pm$ 0,00 <sup>a</sup>	2,17 $\pm$ 0,011 <sup>c</sup>	32,74 $\pm$ 1,07 <sup>c</sup>
<b>FC30E</b>	0,07 $\pm$ 0,00 <sup>a</sup>	3,52 $\pm$ 0,13 <sup>b</sup>	38,50 $\pm$ 1,45 <sup>b</sup>
<b>FC20M</b>	0,15 $\pm$ 0,00 <sup>b</sup>	2,18 $\pm$ 0,05 <sup>c</sup>	23,76 $\pm$ 0,57 <sup>d</sup>
<b>FC30M</b>	0,14 $\pm$ 0,01 <sup>b</sup>	5,80 $\pm$ 0,05 <sup>a</sup>	67,45 $\pm$ 1,34 <sup>a</sup>
<b>FG20E</b>	0,15 $\pm$ 0,01 <sup>b</sup>	2,38 $\pm$ 0,09 <sup>d</sup>	23,14 $\pm$ 2,26 <sup>c</sup>
<b>FG30E</b>	0,12 $\pm$ 0,00 <sup>a</sup>	6,17 $\pm$ 0,35 <sup>b</sup>	50,47 $\pm$ 1,24 <sup>a</sup>
<b>FG20M</b>	0,17 $\pm$ 0,01 <sup>c</sup>	4,41 $\pm$ 0,46 <sup>c</sup>	30,97 $\pm$ 0,03 <sup>b</sup>
<b>FG30M</b>	0,13 $\pm$ 0,00 <sup>a</sup>	7,09 $\pm$ 0,30 <sup>a</sup>	53,58 $\pm$ 1,73 <sup>a</sup>

\*valores abaixo da curva analítica. FRAP <0,16  $\mu$ M Trolox Eq /g.

Para farinhas com uma mesma torta, médias seguidas por letras minúsculas iguais em uma mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukeyao nível de significância de 5%.

Fonte: Elaboração própria

Esse aumento da atividade antioxidante após o processo de extrusão também foi observado por Basilio-Atencio et al. (2020) ao testar vários parâmetros para extrusar farinha de amaranto, todos os parâmetros testados levaram ao aumento da atividade antioxidante de acordo com o método de DPPH. Os autores atribuíram este resultado a uma possível liberação de antioxidantes da matriz alimentar causada pelo processo de extrusão, levando a um aumento dessa atividade (Basilio-Atencio et al., 2020). Pressupõe-se que o mesmo ocorreu nesta pesquisa, isto é, durante o processo de extrusão as farinhas compostas sofreram uma alteração na estrutura

celular e liberaram alguns compostos e pigmentos naturais retidos em suas matrizes o que acarretou o aumento da atividade antioxidante no produto extrusado.

Uma das reações que podem ser responsáveis pela liberação de compostos antioxidantes é a reação de Maillard. De acordo com Shibao e Bastos (2011) e Francisquini et al. (2017) a reação de Maillard gera substâncias que são responsáveis pelo aroma, cor, sabor, e melhora da palatabilidade dos alimentos, essas substâncias são chamadas de “produtos da reação de Maillard” e usualmente desempenham atividade antioxidante. Fato reafirmado na pesquisa de Liu (2014) que observou aumento da atividade antioxidante através da reação de Maillard em isolados de proteínas do soro do leite.

Além disso, sabe-se que os principais agentes antioxidantes são os compostos fenólicos, em especial os flavonoides (HALLIWELL, 1999; MCLEAN et al., 2005; MEISTER, 1992), e que o processo de extrusão ocasionou uma diminuição desses componentes (Tabela 15), fato que contradiz as informações anteriormente discutidas, contudo existem outros agentes que podem exercer atividade antioxidante como as vitaminas C, A e E, carotenoides, entre outros (HALLIWELL, 1999; MCLEAN et al., 2005; MEISTER, 1992). Alguns antioxidantes, como a vitamina E e os carotenoides, por exemplo, são lipossolúveis e a remoção de lipídios (decorrente do processo de extrusão) pode ter auxiliado a extração desses antioxidantes, pois os lipídios podem interferir nos procedimentos de extração (BRIGELIUS-FLOHÉ \*; TRABER, 1999; HALLIWELL, 1999; MCLEAN et al., 2005) e na subsequente quantificação da atividade antioxidante.

De acordo com a análise de ORAC, o processo de extrusão aumentou a atividade antioxidante das farinhas compostas com 20% de torta de cártamo, corroborando com o resultado visualizado na análise de DPPH e não apresentou diferença significativa nas formulações com 30% de torta de girassol (Tabela 7). Enquanto que, de acordo com os resultados observados por FRAP, o processo de extrusão não diminuiu significativamente somente a atividade antioxidante da farinha composta com 20% de torta de cártamo em comparação a farinha composta similar obtida por mistura convencional. As demais farinhas compostas extrusadas apresentaram atividade antioxidante igual ou inferior as farinhas obtidas pelo método

de mistura simples nas análises de FRAP, divergindo do observado na análise de DPPH e ORAC.

No geral a análise de DPPH é mais específica para antioxidantes lipofílicos, FRAP para antioxidantes hidrofílicos e ORAC para ambos (RIVERO-PÉREZ; MUÑIZ; GONZÁLEZ-SANJOSÉ, 2007). Desta forma, os resultados aqui observados estão de acordo com essa afirmação, sendo os valores de ORAC proporcionais aos vistos nas demais análises de capacidade antioxidante realizadas.

Variação nos resultados da atividade antioxidante a depender da análise realizada também foi observada por Basilio-Atencio et al. (2020), em que algumas formulações apresentaram aumento da atividade antioxidante pela análise de DPPH, mas diminuição pelo método ABTS (captura do radical 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)), os autores conferiram esta diminuição ao fato de a degradação antioxidante, provavelmente, ser maior do que a liberação de compostos antioxidantes.

Por fim, a incorporação de ambas as tortas na farinha de trigo foi capaz de aumentar significativamente a atividade antioxidante das farinhas elaboradas e em suma o processo de extrusão, no geral, aumentou a atividade antioxidante das amostras. É importante destacar que o aumento na atividade antioxidante observado pela análise de DPPH indica que a farinha apresentará quantidade significativa de compostos antioxidantes mesmo após ser submetida a temperatura durante o assamento de um produto de panificação, por exemplo.

#### *5.3.7. Micotoxinas*

As micotoxinas avaliadas nas farinhas compostas podem ser observadas na Tabela 17. Foram quantificadas as mesmas micotoxinas avaliadas nas matérias primas (tópico 5.1.6). Não foram encontradas quantidades detectáveis para aflatoxinas, fumonisinas, tricotecenos, ocratoxina A e zearalenona em nenhuma das formulações desenvolvidas.

**Tabela 17.** Contaminação por micotoxinas (aflatoxinas (AFB<sub>1</sub>, AFB<sub>2</sub>, AFG<sub>1</sub> e AFG<sub>2</sub>), desoxinivalenol (DON), fumonisinas (FB<sub>1</sub> e FB<sub>2</sub>), tricotecenos (T2 e HT2), ocratoxina A (OTA) e zearalenona (ZEA)) nas farinhas compostas desenvolvidas com 20% de torta de cártamo pelo processo de extrusão (FC20E) e mistura convencional (FC20M), 30% de torta de cártamo pelo processo de extrusão (FC30E) e mistura convencional (FC30M), 20% de torta de girassol pelo processo de extrusão (FG20E) e mistura convencional (FG20M) e 30% de torta de girassol pelo processo de extrusão (FG30E) e mistura convencional (FG30M)

Formulação	MICOTOXINAS (µg/kg)										
	AFB <sub>1</sub>	AFB <sub>2</sub>	AFG <sub>1</sub>	AFG <sub>2</sub>	DON	FB <sub>1</sub>	FB <sub>2</sub>	T2	HT2	OTA	ZEA
<b>FC20E</b>	ND	ND	ND	ND	39,16 ± 8,74	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<b>FC30E</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<b>FC20M</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<b>FC30M</b>	ND	ND	ND	ND	204,68 ± 128,34	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<b>FG20E</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<b>FG30E</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<b>FG20M</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<b>FG30M</b>	ND	ND	ND	ND	296,80 ± 262,69	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND: micotoxina não detectada

Fonte: Elaboração própria

As formulações com 30% de ambas as tortas produzidas pelo método de mistura simples e a formulação com 20% de torta de cártamo extrusada apresentaram quantidade detectável de desoxinivalenol, contudo, tais valores estão abaixo do limite máximo permitido para DON (750 µg kg<sup>-1</sup>) em cereais e produtos similares como arroz, feijão, farinha de trigo, farinha de milho e também para torta de milho ([ANVISA] AGENCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011)

A incorporação de tortas na farinha de trigo, independentemente do método de mistura ou da torta utilizada, mostrou ser relevante na diminuição de DON, pois todas as amostras analisadas apresentaram redução significativa na concentração de DON comparada a farinha de trigo, utilizada como base, tendo a maioria delas diminuído a níveis não detectáveis essa micotoxina.

É recorrente a inibição da DON e outras micotoxinas através da adição de extratos naturais, devido a presença de lipofílicos de baixo peso molecular como

terpenos, compostos fenólicos, antifúngicos, entre outros (KALAGATUR et al., 2020). Nas farinhas compostas pode-se atribuir a inibição da DON a quantidade de compostos fenólicos e a alta atividade antioxidante das tortas, onde estes compostos atravessam a membrana plasmática fúngica e rompem a integridade e a permeabilidade da membrana, causando um desequilíbrio osmótico, esgotando a síntese de ATP (adenosina trifosfato), gerando a morte celular programada (apoptose) dos fungos responsáveis pela produção de micotoxinas (GANESAN et al., 2022; KALAGATUR et al., 2020).

A formulação FC20E apresentou quantidades detectáveis de DON, entretanto, esse resultado não corresponde com informações aqui discutidas. Hipoteticamente esse resultado poderia ser explicado caso o valor detectado fosse para a formulação FC20M na qual a micotoxina em questão não teria sido diminuída pela metodologia de extrusão, ou até mesmo para a formulação FC30E na qual a quantidade de DON teria sido diminuída, mas não a níveis não detectáveis. Considerando a resposta visualizada, seria necessária a repetição da detecção de micotoxinas nas farinhas compostas a fim de eliminar quaisquer dúvidas a respeito da confiabilidade dos dados obtidos.

#### 5.3.8. *Calorimetria exploratória diferencial (DSC)*

As temperaturas de picos obtidas através das análises de DSC na análise de calorimetria exploratória diferencial para as farinhas compostas podem ser observadas na Tabela 18.

As farinhas compostas com torta de cártamo (independentemente da concentração) produzidas por mistura convencional apresentaram comportamentos similares a farinha de trigo, apresentando dois picos endotérmicos e um exotérmico (Tabela 10). Os picos apresentados por estas farinhas podem ser atribuídos aos mesmos fatores já discutidos para a farinha de trigo (tópico 5.1.7) e pode-se considerar que a incorporação de torta de cártamo junto a farinha de trigo (pelo método de mistura convencional) não influenciou as temperaturas dos picos obtidas por DSC, quando comparado a farinha de trigo.

As farinhas compostas com torta de cártamo elaboradas através do processo de extrusão apresentaram apenas um pico endotérmico e um exotérmico. Ambos os

picos podem ser atribuídos a gelatinização do amido e a fusão do complexo amilose-lipídio, respectivamente, que ocorreram também na farinha de trigo. A ausência do segundo pico endotérmico (observado na farinha de trigo  $\pm 79^{\circ}\text{C}$ ) sugere que o processo de extrusão tenha desnaturado parte das proteínas. Isso pode ter ocorrido em virtude dos parâmetros utilizados no processo de extrusão, em específico a alta temperatura. A desnaturação das proteínas nas farinhas compostas com torta de cártamo extrusadas é confirmada pela diminuição na concentração de proteínas anteriormente discutida (Tabela 11).

Com relação ao pico exotérmico, as farinhas compostas com torta de cártamo produzidas por extrusão (ambas as concentrações), no geral, apresentaram temperatura de picos significativamente inferiores aos observados para as farinhas compostas misturadas (ambas as concentrações). Amidos de cereais contendo ácidos graxos naturais e amilose formam um complexo amilose-lipídio quando extrusados, que pode ser um indicativo da formação de amidos resistentes, o que resulta na diminuição da temperatura do pico exotérmico referente a fusão do complexo amilose-lipídio aqui visualizada e discutida (ALTAN; MCCARTHY; MASKAN, 2009; GOMES, 2020).

Mesmo comportamento foi visualizado por Altan, McCarthy e Maskan (2009) ao extrusarem farinha de cevada, onde o produto 'in natura' apresentou pico de formação do complexo amilose-lipídio à  $101,9^{\circ}\text{C}$  e após extrusado a temperatura caiu para  $84$  à  $90^{\circ}\text{C}$  a depender da temperatura de extrusão, em que temperaturas mais altas durante o processo de extrusão geram uma menor diminuição da temperatura do pico exotérmico exibido pelas farinhas. Os autores avaliaram a também a produção de farinhas compostas de cevada com bagaço de tomate ou de uva e notaram o mesmo comportamento nas farinhas extrusadas, isto é, o processo de extrusão reduz a temperatura de formação do complexo amilose-lipídio. A redução de temperatura do pico exotérmico variou entre  $5$  e  $15^{\circ}\text{C}$ , mesma escala observada nessa pesquisa (ALTAN; MCCARTHY; MASKAN, 2009).



**Tabela 18.** Temperaturas de pico observados na análise de calorimetria exploratória diferencial apresentadas pelas farinhas compostas desenvolvidas com 20% de torta de cártamo pelo processo de extrusão (FC20E) e mistura convencional (FC20M), 30% de torta de cártamo pelo processo de extrusão (FC30E) e mistura convencional (FC30M), 20% de torta de girassol pelo processo de extrusão (FG20E) e mistura convencional (FG20M) e 30% de torta de girassol pelo processo de extrusão (FG30E) e mistura convencional (FG30M).

Formulação	1º Pico Endotérmico	2º Pico Endotérmico	Pico Exotérmico
FC20E	67,84 ± 5,66 <sup>a</sup>	*	91,44 ± 0,18 <sup>d</sup>
FC30E	65,29 ± 1,28 <sup>a</sup>	*	95,71 ± 0,37 <sup>c</sup>
FC20M	60,63 ± 0,39 <sup>a</sup>	78,61 ± 0,28 <sup>b</sup>	107,18 ± 0,00 <sup>a</sup>
FC30M	59,64 ± 0,44 <sup>a</sup>	91,31 ± 1,77 <sup>a</sup>	101,68 ± 0,27 <sup>b</sup>
FG20E	76,38 ± 0,93 <sup>a</sup>	*	94,90 ± 2,81 <sup>a</sup>
FG30E	74,47 ± 3,56 <sup>a</sup>	*	85,06 ± 2,32 <sup>b</sup>
FG20M	61,46 ± 0,56 <sup>b</sup>	*	*
FG30M	60,57 ± 0,30 <sup>b</sup>	*	*
Farinha de trigo <sup>+</sup>	59,83 ± 0,56	78,90 ± 1,20	101,81 ± 1,36
Torta de girassol <sup>+</sup>	68,81 ± 2,11	95,77 ± 0,14	*
Torta de cártamo <sup>+</sup>	59,79 ± 0,48	*	*

\* Não detectado na maioria das replicatas durante a realização da análise

<sup>+</sup> Mesmos valores apresentados na tabela 10, apresentados aqui a fim de facilitar a comparação

Para farinhas com uma mesma torta, médias seguidas por letras minúsculas iguais em uma mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Fonte: Elaboração própria

Em relação as farinhas compostas com torta de girassol obtidas através do processo de extrusão (ambas as concentrações) foram observados um pico endotérmico e um exotérmico (Tabela 18). Estes picos podem ser atribuídos a gelatinização do amido (65-75°C) e a fusão do complexo amilose-lipídio (90°C), respectivamente. A falta do segundo pico endotérmico nas farinhas compostas extrusadas com torta de girassol pode ser atribuído também a desnaturação das proteínas terem ocorrido durante o processo de extrusão. Nota-se que as farinhas compostas com torta de girassol obtidas através do processo de extrusão apresentaram o mesmo comportamento das farinhas compostas extrusadas com torta de cártamo e a discussão lá discorrida explica também o observado nas farinhas compostas com torta de girassol extrusadas.

As farinhas compostas produzidas com torta de girassol obtidas pelo método de mistura simples apresentaram apenas um pico endotérmico, que pode ser atribuído a gelatinização do amido, sendo a temperatura observada próxima as demais para o pico em questão.

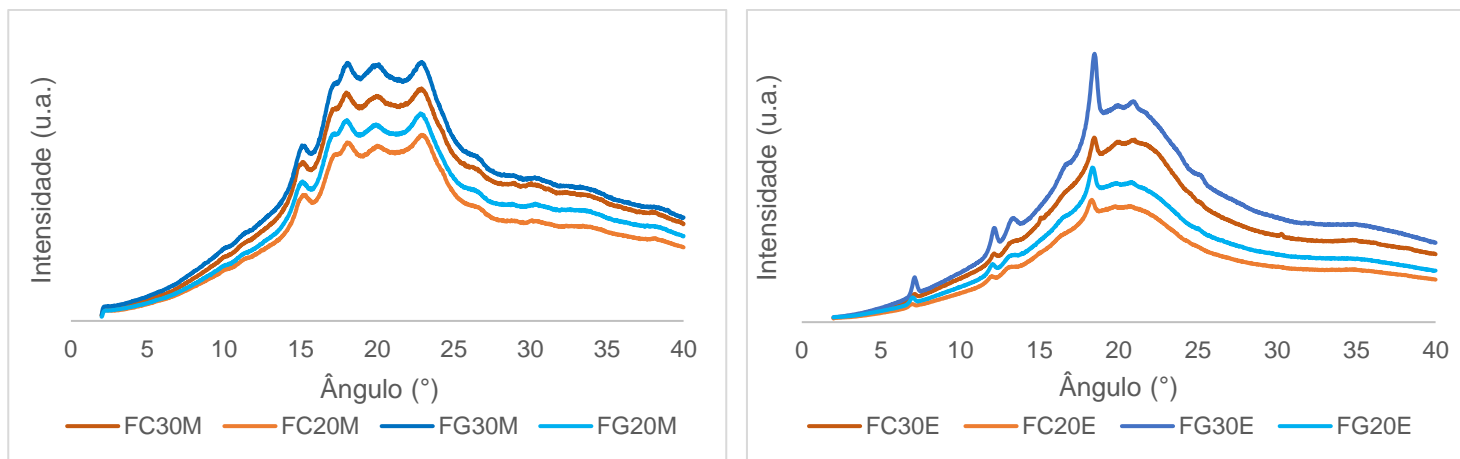
Não é possível determinar com exatidão a causa do não aparecimento dos outros dois picos observados nas demais formulações (um endotérmico próximo 80°C e um exotérmico próximo a 90°C). Analisando a temperatura do pico de degradação das proteínas (entre 69 e 96°C para a torta de girassol) e a temperatura do pico de fusão amilose-lipídio da farinha de trigo (entre 78 e 102°C), é possível constatar que as temperaturas dos picos se sobrepõem, o que pode ter gerado uma inexatidão na apresentação dos picos, fato que é reafirmado ao analisar individualmente a triplicata desta análise em que uma replicata a amostra FG30M apresentou um segundo pico endotérmico em 80,91°C e outra replicata desta mesma amostra apresentou pico exotérmico em 93,56°C.

Desta forma, seria necessário refazer a análise alterando os parâmetros utilizados, como por exemplo diminuindo a taxa de aquecimento durante a análise, para facilitar a separação dos picos.

#### 5.3.9. Difração de raios-x

Os difratogramas de raios-x obtidos para as diferentes farinhas compostas produzidas estão apresentados na Figura 16. De maneira geral, pode-se observar que as farinhas compostas produzidas por mistura convencional apresentaram comportamento semelhante a farinha de trigo (Figura 7). Tanto a farinha de trigo como as farinhas produzidas por mistura convencional apresentaram picos característicos nos graus 15,2°, 17,3°, 18,2°, 20,1° e 23°.

Além dos picos característicos dos amidos A, B e C apresentados no tópico 5.1.8, há ainda, de acordo com Zobel, Young e Rocca (1986), mais um tipo cristalinidade, formado pela cristalização da amilose com lipídios, que apresenta picos de intensidade aproximadamente nos ângulos de 12,6°, 13,2°, 19,4° e 20,6°.



**Figura 16.** Difratogramas de raios x das farinhas compostas desenvolvidas com 20% de torta de cártamo pelo processo de extrusão (FC20E) e mistura convencional (FC20M), 30% de torta de cártamo pelo processo de extrusão (FC30E) e mistura convencional (FC30M), 20% de torta de girassol pelo processo de extrusão (FG20E) e mistura convencional (FG20M) e 30% de torta de girassol pelo processo de extrusão (FG30E) e mistura convencional (FG30M).

Fonte: Elaboração própria

Ao comparar os picos observados para a farinha de trigo com as farinhas compostas misturadas (Figura 7) é possível ver grande similaridade com os picos referidos para amidos tipo A, o que está de acordo com as informações encontradas na literatura. Bello-Pérez *et al.* (2006) e Van Soest e Vligenthart (1997) atribuem o padrão de cristalinidade do tipo A como típico para cereais.

As farinhas compostas extrusadas por sua vez apresentaram picos em 7,2°, 12,4°, 13,4°, 18,5°, 19,8° e 20,8° (Figura 16). É possível verificar grande semelhança com a cristalinidade explicada por Zobel Young e Rocca (1986) com o aumento de dois picos nos graus 7,2° e 18,5° que podem ser atribuídos a resposta das tortas ao processo de extrusão. Outro fato que pode ser atribuído ao processo de extrusão é a ausência do pico próximo ao grau 23°, que é visualizado na farinha de trigo e nas farinhas compostas misturadas.

Portanto, a partir dos difratogramas de raios x pode-se afirmar que houve perda da estrutura cristalina organizada dos grânulos de amido através do processo de extrusão. Essa perda de cristalinidade é comum em cereais extrusados e é causada pela ruptura mecânica das ligações moleculares devido aos intensos campos de cisalhamento dentro da extrusora (OLKKU; RHA, 1978). Oliveira *et al.* (2017) ao

extrusarem farinha de milho com farinha de trigo integral (variando a concentração de farinha de trigo entre 20 e 80%) também observaram, através da difração de raios x, a perda da cristalinidade.

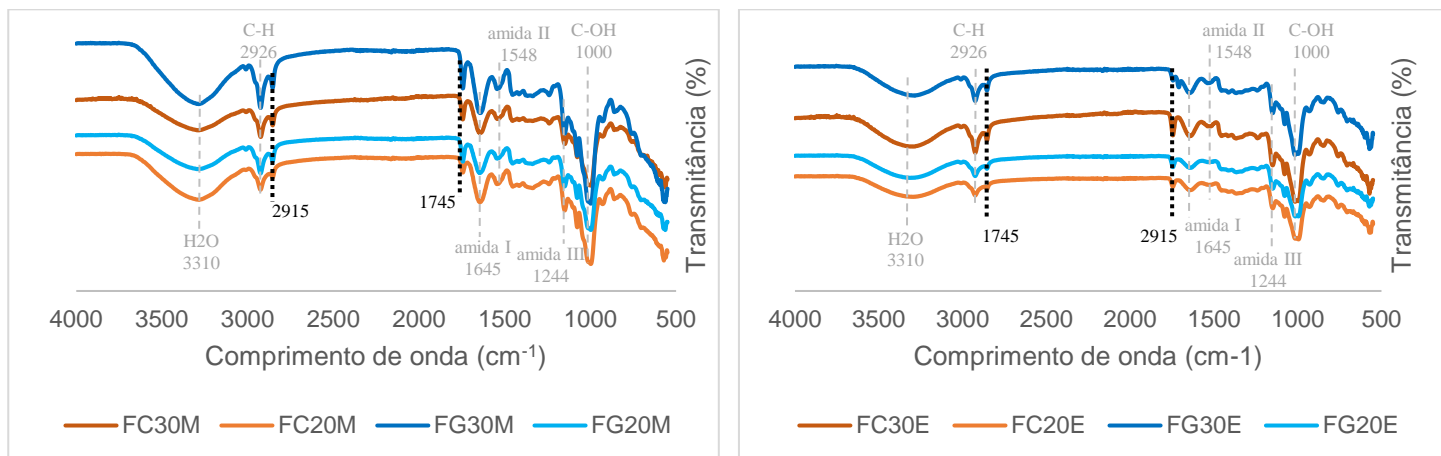
Pode-se concluir que não há um padrão de cristalinidade para farinha de trigo extrusada com outros produtos, em que o comportamento das curvas do difratograma é dependente do produto inserido, entretanto, é possível afirmar que o processo de extrusão, no geral, causa ruptura das ligações moleculares, modificando a estrutura cristalina organizada apresentada pela farinha de trigo.

#### 5.3.10. *Espectroscopia de infravermelhos por transformada de Fourier (FTIR)*

A espectroscopia de infravermelho das farinhas compostas produzidas podem ser visualizados na Figura 17. As farinhas compostas, independente da torta ou metodologia de mistura empregues, apresentaram comportamento semelhante ao da farinha de trigo (Figura 8), apresentando dois picos a mais em  $1745\text{ cm}^{-1}$  e outro em  $2915\text{ cm}^{-1}$ . Ambos os picos mencionados podem ser vistos nas tortas (Figura 8) e podem ser atribuídos aos lipídios (alongamento das ligações C=O e C-H).

Observa-se que os picos correspondentes aos lipídios apresentaram maior intensidade nas amostras obtidas pelo método de mistura simples, fato que corrobora com os dados anteriormente discutidos, em que as amostras extrusadas apresentaram menor teor de lipídios (Tabela 11).

Existem diversas pesquisas que associam o excesso de lipídios saturados na dieta humana ao aumento do risco de morte por doenças cardiovasculares, contudo, de acordo com o estudo PURE que avaliou as associações da ingestão de gorduras e carboidratos com doenças cardiovasculares e mortalidade em 18 países dos cinco continentes, o risco de mortalidade total por causas não cardiovasculares foi correlacionado negativamente ao consumo de gorduras (poliinsaturadas, monoinsaturadas e saturadas) e, ainda, o maior consumo de gorduras saturadas (35% do valor calórico total) foi associado a um menor risco de acidente vascular cerebral (DEHGHAN et al., 2017). Apesar dessas novas perspectivas, ainda se faz necessário um consumo consciente desta classe de lipídios.



**Figura 17.** Espectros de FTIR das farinhas compostas desenvolvidas com 20% de torta de cártamo pelo processo de extrusão (FC20E) e mistura convencional (FC20M), 30% de torta de cártamo pelo processo de extrusão (FC30E) e mistura convencional (FC30M), 20% de torta de girassol pelo processo de extrusão (FG20E) e mistura convencional (FG20M) e 30% de torta de girassol pelo processo de extrusão (FG30E) e mistura convencional (FG30M).

Fonte: Elaboração própria

O processo de extrusão não influenciou grandemente a resposta da análise de FTIR, isto é, as farinhas compostas extrusadas e farinhas misturadas apresentaram os mesmos picos, apenas uma pequena diferença pode ser observada na intensidade de alguns picos (como os picos nos comprimentos de onda correspondentes a amida I, amida II e C-OH).

Wang *et al.* (2022) ao extrusarem farelo de trigo previamente tratado com “*Steam Explosion*” também observaram uma diminuição na intensidade dos picos presentes antes do processo de extrusão. Os autores atribuíram a redução da intensidade do pico referente a amida I (1650cm<sup>-1</sup>) à degradação das proteínas e a redução do pico C-OH (1041 cm<sup>-1</sup>) à degradação de dextrana em glicose e da xilana em xilose (WANG *et al.*, 2022). Tais respostas também podem ser atribuídas as diminuições de intensidade visualizadas nesta pesquisa.

Wang *et al.* (2022) observaram, ainda, a redução do pico em 1242 cm<sup>-1</sup> e do correspondente a ligação C-H (2923 cm<sup>-1</sup>) e os imputaram redução do teor relativo as unidades de lignina e à redução nos componentes metil e metileno, o que geraria

a redução do teor de fibra alimentar, respectivamente. Tais reduções não foram observadas nas farinhas compostas aqui extrusadas, denotando uma menor influência da metodologia de extrusão aqui utilizada, que pode ser conferida a utilização de parâmetros mais brandos e também a não utilização do pré-tratamento utilizado por Wang *et al.* (2022).

Em síntese, o processo de extrusão influenciou na intensidade dos picos, mas não afetou grandemente a resposta de FTIR, em outras palavras, apesar de provocar degradações em alguns componentes, essa degradação não foi acentuada a ponto de suprimi-lo.

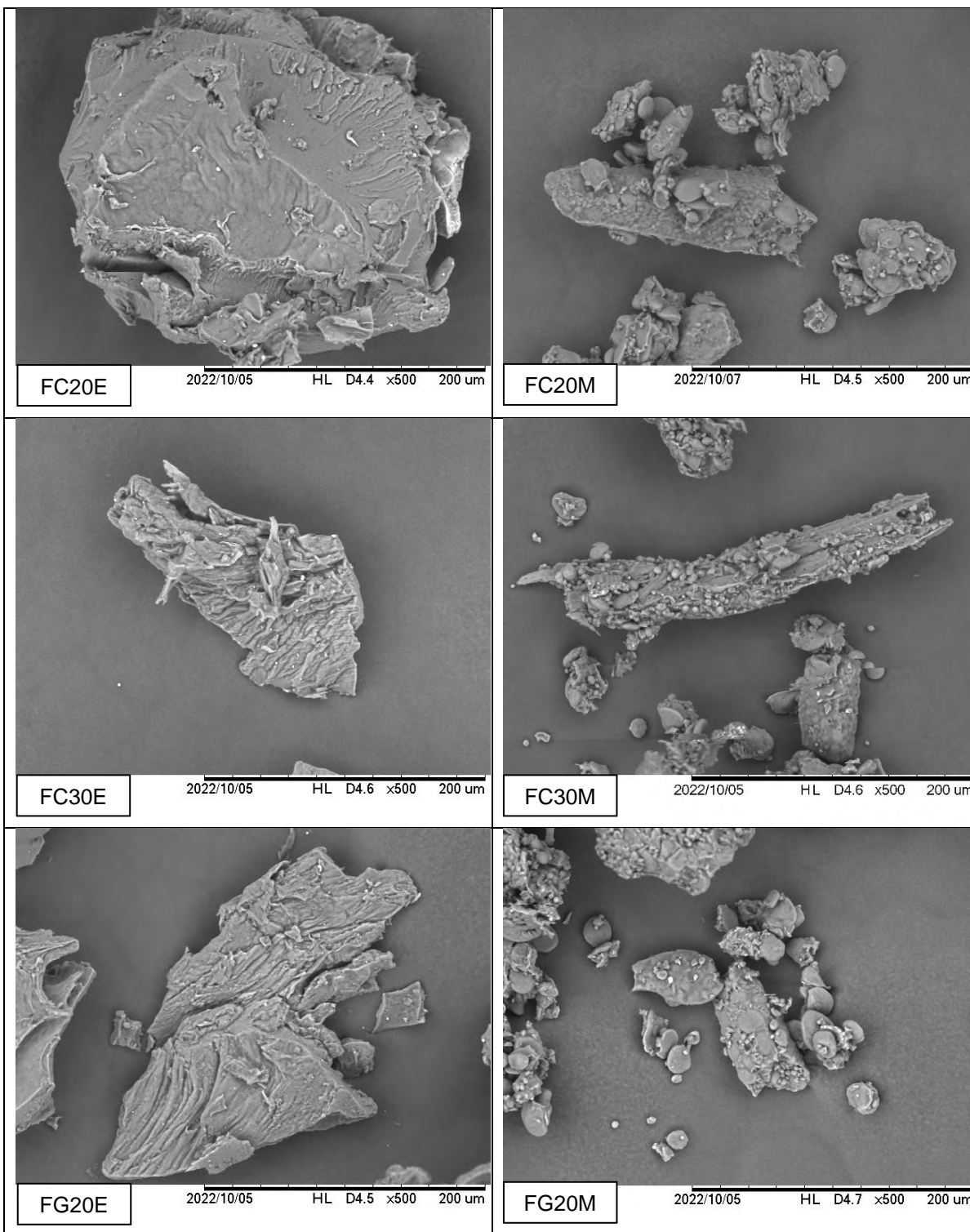
#### 5.3.11. *Morfologia*

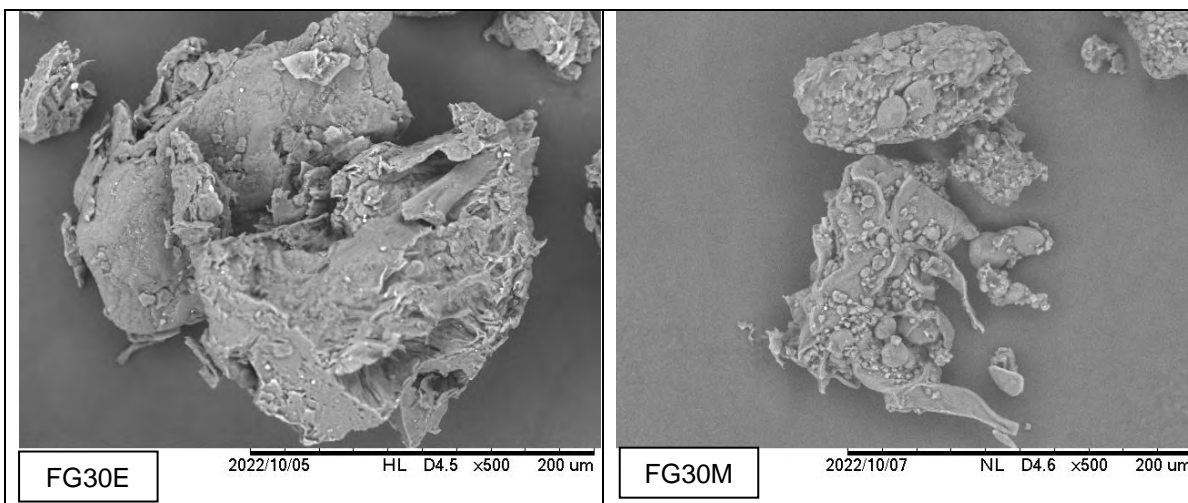
Nas farinhas compostas desenvolvidas pelo método de mistura convencional as partículas não apresentaram homogeneidade de tamanho ou formato (Figura 18), contudo é possível observar vários grânulos de amido intactos, alguns soltos, mas em grande maioria agregados aos grânulos correspondentes a torta. A maior agregação dos grânulos, quando comparados a farinha de trigo, pode ser atribuída à quantidade de lipídios das tortas, que favorecem esse agrupamento. Este agrupamento também foi observado por Jia *et al.* (2020) ao elaborar farinha composta com farinha de trigo, grão de bico e kansui (mistura de carbonato de sódio e carbonato de potássio).

As morfologias das farinhas compostas produzidas pelo processo de extrusão apresentaram grânulos de formato compacto e amorfo, não sendo possível visualizar os grânulos de amido em sua estrutura original (formato esférico-lenticular) desprendidos da matriz, podendo este efeito ser atribuído a gelatinização decorrente do processo de extrusão, previamente discutida nos tópicos 5.1.7 e 5.3.8.

A superfície dos grânulos das farinhas compostas extrusadas apresentaram-se irregulares, com partes estriadas e alguns orifícios que podem ser atribuídos a formação de bolhas de ar geradas durante o processo de extrusão através da expansão. Yang *et al.* (2021) observaram comportamento semelhante ao extrusarem farinha de trigo com manitol ou xilitol e atribuíram esta resposta à gelatinização do amido, dado que corrobora com os resultados observados neste estudo e que foram

discutidos nos índices de absorção e solubilidade em água e na análise de difração de raios-x.





**Figura 18.** Microscopia eletrônica de varredura (MEV) das farinhas compostas desenvolvidas com 20% de torta de cártamo pelo processo de extrusão (FC20E) e mistura convencional (FC20M), 30% de torta de cártamo pelo processo de extrusão (FC30E) e mistura convencional (FC30M), 20% de torta de girassol pelo processo de extrusão (FG20E) e mistura convencional (FG20M) e 30% de torta de girassol pelo processo de extrusão (FG30E) e mistura convencional (FG30M).

Fonte: Elaboração própria

A partir da observação das imagens geradas na microscopia eletrônica de varredura é possível afirmar que a extrusão é uma metodologia eficaz na homogeneização de farinhas, em que nas imagens da microscopia eletrônica de varredura das farinhas compostas obtidas por mistura simples é possível identificar os grânulos correspondentes as tortas ou ao amido da farinha de trigo separadamente, enquanto que nas farinhas compostas extrusadas as imagens mostram grânulos compactos sem possibilidade distinção de onde proveem.

#### 5.3.12. Índices de absorção (IAA) e solubilidade (ISA) em água e absorção de óleos (IAO)

Pode-se observar que para a amostra controle (farinha de trigo) os valores de IAA apresentaram aumento significativo em função do aumento da temperatura utilizada nos ensaios (Tabela 19). Este aumento linear do índice de absorção de água em função do aumento da temperatura era esperado para a farinha de trigo, pois o índice de absorção de água de um amiláceo cru em meio úmido é aumentado ao aplicar-se calor durante o processamento, devido ao processo de gelatinização (MISHRA; RAI, 2006).



Em relação as farinhas compostas produzidas por mistura convencional, a incorporação de ambas as tortas, independentemente do valor incorporado, não apresentou efeito significativo nos valores de IAA a 30°C e 65°C, quando comparados a farinha de trigo. Por outro lado, os valores de IAA à 75 e 85 °C para estas farinhas foi inferior aos obtidos para a farinha de trigo (Tabela 19). A diminuição nos valores de IAA em comparação a farinha de trigo para as temperaturas de 75 e 85°C, pode estar associado a gelatinização dos grânulos de amido das amostras. Como as farinhas compostas apresentam menor concentração de amido, em comparação a farinha controle, e a faixa de temperatura onde ocorre a gelatinização do amido de trigo situa-se entre 65-75°C (CIEÍLA & ELIASSON, 2005; MOHAMED & RAYAS-DUARTE, 2002), pode-se sugerir que estas amostras absorveram uma menor quantidade de água durante a gelatinização, o que resultou em valores de absorção de água inferiores a farinha controle.

**Tabela 19.** Índices de absorção de água (IAA), solubilidade em água (ISA) e absorção de óleo (IAO) encontrado para farinha de trigo (FT) e das farinhas compostas desenvolvidas com 20% de torta de cártamo pelo processo de extrusão (FC20E) e mistura convencional (FC20M), 30% de torta de cártamo pelo processo de extrusão (FC30E) e mistura convencional (FC30M), 20% de torta de girassol pelo processo de extrusão (FG20E) e mistura convencional (FG20M) e 30% de torta de girassol pelo processo de extrusão (FG30E) e mistura convencional (FG30M).

	IAA (g água /g amostra)				ISA (%)				IAO (g óleo /g amostra)
	30°C	65°C	75°C	85°C	30°C	65°C	75°C	85°C	
<b>FT</b>	2,28 ± 0,03 <sup>dC</sup>	5,64 ± 0,19 <sup>bB</sup>	7,75 ± 0,74 <sup>aA</sup>	8,66 ± 0,21 <sup>aA</sup>	4,92 ± 0,07 <sup>eB</sup>	13,09 ± 0,84 <sup>cA</sup>	5,92 ± 0,71 <sup>fB</sup>	5,34 ± 0,13 <sup>fB</sup>	2,31 ± 0,04 <sup>d</sup>
<b>FC20E</b>	6,22 ± 0,11 <sup>bB</sup>	7,82 ± 0,09 <sup>aA</sup>	7,04 ± 0,57 <sup>abcAB</sup>	7,07 ± 0,32 <sup>bAB</sup>	13,06 ± 0,05 <sup>bD</sup>	18,58 ± 0,33 <sup>aB</sup>	14,89 ± 0,35 <sup>cC</sup>	19,79 ± 0,10 <sup>A<sup>bA</sup></sup>	2,79 ± 0,01 <sup>bB</sup>
<b>FC30E</b>	6,44 ± 0,10 <sup>abA</sup>	5,47 ± 0,21 <sup>bcB</sup>	5,32 ± 0,18 <sup>dB</sup>	5,09 ± 0,03 <sup>cB</sup>	14,16 ± 0,13 <sup>aD</sup>	15,33 ± 0,52 <sup>bC</sup>	19,15 ± 0,69 <sup>aB</sup>	21,92 ± 0,13 <sup>aA</sup>	3,01 ± 0,03 <sup>aA</sup>
<b>FC20M</b>	2,35 ± 0,04 <sup>dD</sup>	5,36 ± 0,08 <sup>bcC</sup>	6,29 ± 0,07 <sup>cB</sup>	7,19 ± 0,22 <sup>bA</sup>	5,95 ± 0,09 <sup>eC</sup>	13,62 ± 0,44 <sup>bcA</sup>	7,06 ± 0,16 <sup>fB</sup>	6,12 ± 0,26 <sup>fBC</sup>	2,34 ± 0,03 <sup>dC</sup>
<b>FC30M</b>	2,49 ± 0,01 <sup>dD</sup>	4,48 ± 0,45 <sup>cC</sup>	5,87 ± 0,05 <sup>cdB</sup>	7,23 ± 0,59 <sup>bA</sup>	6,92 ± 0,52 <sup>dB</sup>	4,29 ± 0,66 <sup>dC</sup>	10,47 ± 0,99 <sup>eA</sup>	8,63 ± 0,4 <sup>eAB</sup>	1,83 ± 0,01 <sup>fD</sup>
<b>FG20E</b>	6,84 ± 0,19 <sup>aB</sup>	7,60 ± 0,12 <sup>aA</sup>	7,35 ± 0,18 <sup>abAB</sup>	6,91 ± 0,00 <sup>bAB</sup>	10,80 ± 0,27 <sup>cD</sup>	11,66 ± 0,34 <sup>cC</sup>	12,89 ± 0,37 <sup>dB</sup>	14,91 ± 0,20 <sup>cA</sup>	2,66 ± 0,02 <sup>cA</sup>
<b>FG30E</b>	5,50 ± 0,23 <sup>cA</sup>	5,00 ± 0,08 <sup>bcB</sup>	5,09 ± 0,07 <sup>dA</sup>	4,88 ± 0,10 <sup>cB</sup>	13,29 ± 0,26 <sup>bC</sup>	12,63 ± 0,27 <sup>cC</sup>	17,59 ± 0,16 <sup>bB</sup>	19,39 ± 0,35 <sup>bA</sup>	2,13 ± 0,2 <sup>eC</sup>
<b>FG20M</b>	2,55 ± 0,02 <sup>dC</sup>	5,15 ± 0,26 <sup>bcB</sup>	6,63 ± 0,18 <sup>bcA</sup>	6,79 ± 0,06 <sup>bA</sup>	6,26 ± 0,14 <sup>deB</sup>	12,43 ± 0,72 <sup>cA</sup>	6,48 ± 0,34 <sup>fB</sup>	6,53 ± 0,52 <sup>fB</sup>	2,32 ± 0,05 <sup>dB</sup>
<b>FG30M</b>	2,62 ± 0,05 <sup>dD</sup>	4,86 ± 0,19 <sup>bcC</sup>	5,81 ± 0,06 <sup>dB</sup>	7,32 ± 0,35 <sup>bA</sup>	6,95 ± 0,13 <sup>dB</sup>	5,49 ± 0,48 <sup>dB</sup>	10,21 ± 0,28 <sup>eA</sup>	12,26 ± 0,54 <sup>dA</sup>	1,88 ± 0,02 <sup>fD</sup>

Médias seguidas por letras minúsculas iguais em uma mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey. Para farinhas com uma mesma torta, médias seguidas por letras maiúsculas iguais em uma mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey. Ambos os testes ao nível de significância de 5%.

Fonte: Elaboração própria

O uso do processo de extrusão na elaboração de farinha composta com 20% de ambas as tortas, no geral, provocou aumento significativo nos valores de IAA, quando comparado a farinha similar produzida por mistura convencional (FC20M) em temperaturas até 75°C. Já sobre a farinha com 30% de ambas as tortas, o processo de extrusão ocasionou um aumento do IAA em 30°C, nenhuma influência em 65 e 75°C e diminuição deste índice na temperatura de 85°C (Tabela 19). Estes comportamentos, ou seja, aumento nos valores de IAA à 30°C, e diminuição à 85°C, podem ser atribuídos a gelatinização do amido decorrente das altas temperaturas utilizadas no processo de extrusão. Durante o processo de extrusão é provável que tenha ocorrido uma modificação no amido, o que explica o aumento da absorção de água a temperatura mais brandas, porém, após atingir o máximo de absorção (de acordo com o grau de amido danificado) o índice de absorção de água diminui (MISHRA; RAI, 2006). Supõe-se que o grau de amidos danificados nas formulações elaboradas pelo método de extrusão foi diferente entre as farinhas compostas com 20 e 30% de ambas as tortas, o que explica a diferença no comportamento do IAA observado.

Meng et al. (2019) também observaram um aumento da capacidade de absorção de água (30°C) em farinha composta à base de trigo e feijão mungo ao extrusá-la e atribuíram esse comportamento a gelatinização e degradação do amido decorrente do processo de extrusão.

Todas as formulações de farinhas compostas, independente da torta ou método de mistura utilizado, exibiram um maior índice de solubilidade em água em temperaturas de 30, 75 e 85 °C quando comparadas a farinha de trigo. Singh e Smith (1998) ao extrusarem amido de trigo ou farelo de trigo integral adicionados de óleo de gérmen de trigo notaram comportamento semelhante no ISA, em que o óleo das amostras não formou complexo com a amilose, o que resultou em uma estabilidade do ISA. Desta forma, pode-se considerar que os componentes presentes nas tortas, em específico os lipídios, não formaram complexo com a amilose, não diminuindo a solubilidade. Pode-se presumir, ainda, que as tortas foram capazes de formar complexos com outros componentes, o que gerou um aumento no ISA.

As farinhas compostas extrusadas (independentemente da concentração de torta) apresentaram valores de índice de solubilidade em água superiores as farinhas compostas misturadas, para uma mesma temperatura (Tabela 19). O índice de solubilidade em água está ligado ao conteúdo de sólidos solúveis presentes em uma amostra, possibilitando determinar a intensidade de um determinado tratamento térmico. É possível, ainda, associar este índice a dextrinização (XING et al., 2023). De acordo com Neder-Suárez et al. (2020) a diminuição do IAA e aumento do ISA estão ligados a uma melhor gelatinização com dextrinização dos componentes do amido.

Assim, as farinhas compostas extrusadas podem apresentar maior grau de dextrinização o que facilitaria a formação do complexo amilose-lipídeo que, através de combinações e reações químicas por sua vez, podem favorecer a formação de amido resistente tipo 5 (NEDER-SUÁREZ et al., 2020; YE et al., 2019). Dessa forma, pode-se sugerir que o processo de extrusão possa ter provocado a formação de amidos pré-resistentes o que resultou na diminuição nos valores de IAA e aumento do ISA observados neste estudo. Estas características em farinhas oferecem benefícios para uso em produtos de panificação, lácteos e cárneos (DE LA ROSA-MILLÁN et al., 2019; NEDER-SUÁREZ et al., 2020).

Em relação ao índice de absorção de óleo, a inserção de 20% de ambas as tortas para a elaboração da farinha composta por mistura convencional não influenciou significativamente o índice de absorção de óleos. Mesmo comportamento foi observado por (SINGH; SINGH, 1991) ao desenvolverem uma farinha composta a base de farinha de sorgo com 20% de farinha de amendoim desengordurada. Já a farinha composta com 30% de torta obtida pelo método de mistura simples apresentou redução significativa no índice de absorção de óleos, considerando o índice de absorção da farinha de trigo como controle (Tabela 19). Essa redução observada pode ser atribuída a quantidade de lipídios presentes nas tortas (Tabela 4), a qual teoricamente absorve menos óleos quando comparada a farinha de trigo. Essa suposição pode ser confirmada ao observar os resultados de Rani e Badwaik (2021) ao analisarem a absorção de óleos das tortas de mostarda, soja e linhaça in

natura ou desengorduradas, onde as tortas desengorduradas absorveram mais óleos.

O processo de extrusão ocasionou aumento do índice de absorção de óleo em comparação as farinhas similares obtidas por mistura convencional independentemente da torta utilizada. Resultado semelhante foi visto por Garcia-Valle e colaboradores (2019), os pesquisadores observaram um leve, porém significativo, aumento na absorção de óleo ao extrusar suas amostras de farinha de banana da terra e atribuíram este fato à desorganização dos componentes do amido, ocasionada pelo processo de extrusão, o que resultaria em uma liberação parcial de cadeias de amilose propensas a formar complexos com lipídios.

Nota-se que o comportamento do IAO das farinhas compostas com torta de cártamo e com torta de girassol obtidas por mistura convencional é semelhante, contudo, após passarem por processo de extrusão, as formulações com torta de cártamo apresentaram maior absorção que as formulações com torta de girassol.

Isso pode ser atribuído ao comportamento dessas farinhas durante o processo de extrusão em si, no qual a farinha composta com torta de girassol, expeliu pelo bico da extrusora o excesso de lipídios presentes na torta, como já discutido no tópico 5.3.1. Essa “remoção” de lipídios gerou uma alteração na composição da farinha composta em questão, que pode ser vista também na quantidade de extrato etéreo desta (Tabela 4), fato que pode ter favorecido a capacidade de absorção de óleo.

Pode-se observar, ainda, uma relação inversa (porém não linear) entre o índice de absorção de óleo e a quantidade de extrato etéreo presente nas farinhas compostas, onde farinhas com menores teor de lipídios apresentaram maiores valores de absorção de óleo. A fim de confirmar a correlação entre o índice de absorção de óleo e a quantidade de lipídios foi feito o teste de correlação de Spearman no software Statística 7.0 para  $p < 0,05$ . A correlação foi significativa ( $p < 0,05$ ) e negativa (-0,68) confirmando a relação inversa não linear anteriormente mencionada. Desta forma, pode-se classificar a relação aqui visualizada entre o índice de absorção de óleo e a concentração de lipídios da amostra como moderada à forte (RUMSEY, 2016).

Em suma, a farinha extrusada apresenta potencialidades para ser utilizada em produtos cárneos, lácteos e panificação, pois em temperaturas brandas absorve maior quantidade de água, aumentando o rendimento, facilitando o manuseio e em específico aos produtos cárneos embutidos e lácteos, pode reduzir a sinérese (AWUCHI, IGWE e ECHETA, 2019; DE LA ROSA-MILLÁN et al., 2019; NEDER-SUÁREZ et al., 2020). Já as farinhas compostas obtidas por mistura convencional são viáveis para a elaboração de molhos a base de farinha, massas de elaboração quente, como as de salgados fritos devido a maior absorção de água em temperaturas elevadas e para produtos que requeiram menores índices de absorção de água como cookies e massas de macarrão, por exemplo (AWUCHI, IGWE e ECHETA, 2019).

A maior absorção e solubilidade observada nas farinhas extrusadas favorece a diluição de sais e o umedecimento e intumescimento do amido, deixando-o mais digerível e fornecendo um meio propício ao desenvolvimento de atividade enzimática benéfica para o organismo humano (QUEIJI, SCHEMIN e TRINDADE, 2006).

O aumento no índice de absorção de óleos apresentado pelas farinhas extrusadas tende a melhorar a textura da boca e manter o sabor dos produtos alimentícios; além disso, farinhas com maior absorção de óleo são vantajosas como ingrediente funcional em alimentos como salsichas, coberturas batidas, bolos anjo e pão de ló, sobremesa chiffon, entre outros (AWUCHI, IGWE e ECHETA, 2019). As farinhas compostas misturadas, por apresentarem menor absorção de óleo, são propícias para a elaboração de produtos destinados a fritura, já que a taxa de absorção de óleo é muito alta em alimentos fritos, o que aumenta o valor calórico dos produtos.

### 5.3.13. *Propriedades emulsificantes*

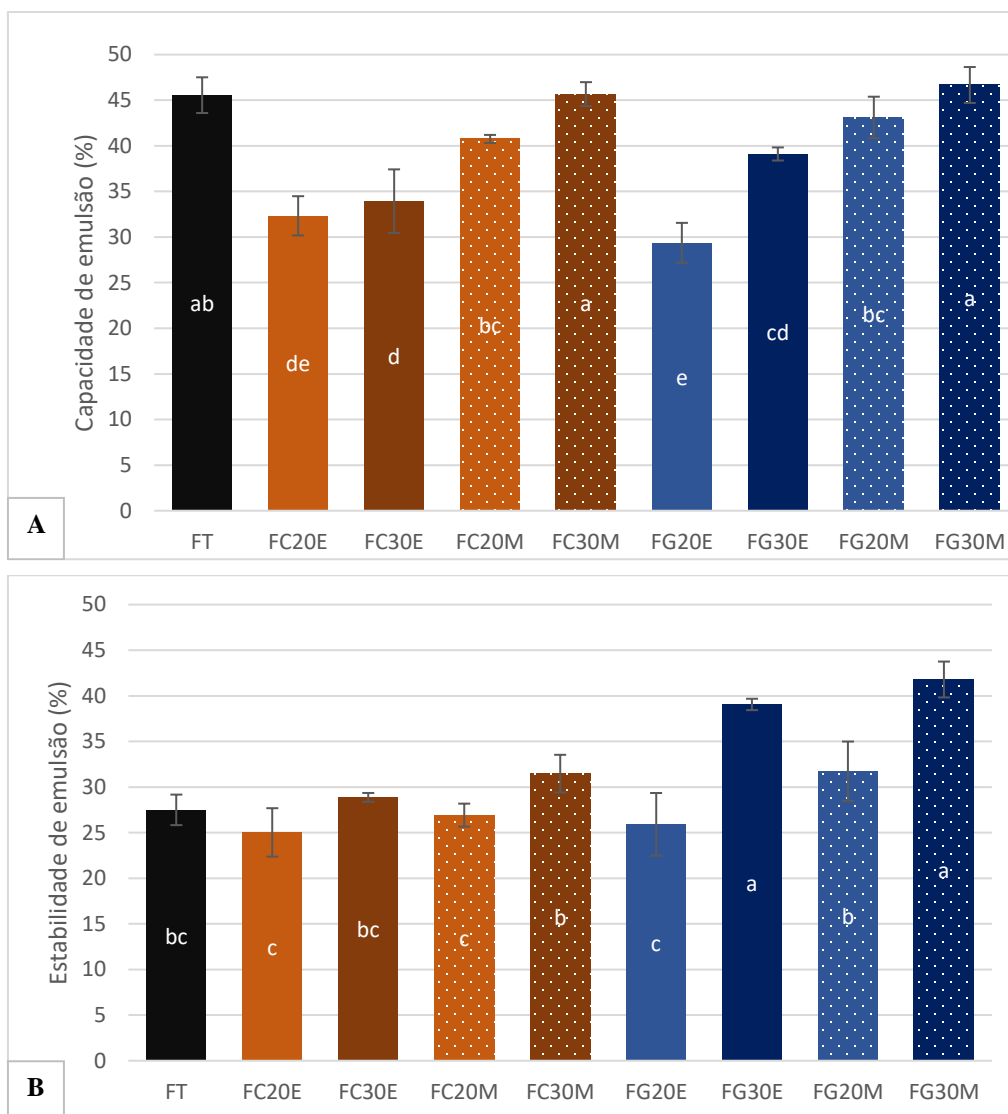
A incorporação das tortas de cártamo ou girassol na farinha de trigo através do método de mistura convencional independentemente da concentração, não afetou significativamente a capacidade de emulsão, como pode ser visto na Figura 19A. Por outro lado, o processo de extrusão diminuiu a capacidade de emulsão das amostras, em ambas as tortas e concentrações avaliadas (Figura 19A). Mesmo comportamento

foi observado por Martinez et al. (2014) ao extrusar farinha de arroz, em que as amostras extrusadas apresentaram capacidade emulsificante inferior a farinha crua. Os autores atribuíram este comportamento a modificação da proteína e do amido durante o processo de extrusão. O processo de extrusão força o desdobramento e desnaturação das proteínas o que pode resultar em uma diminuição da capacidade emulsificante da farinha (MARTÍNEZ et al., 2014).

Nascimento e Wang (2013) avaliaram a influência do processo de extrusão sobre farinhas mistas de trigo e soja e chegaram à conclusão de que fatores como a umidade, temperatura e velocidade do parafuso influenciam diretamente sobre a capacidade e estabilidade de emulsão de uma mesma amostra. Dessa forma, pode-se sugerir que a capacidade de emulsão das amostras extrusadas é bastante variável a depender dos parâmetros de extrusão selecionados, o que pode explicar a redução da capacidade emulsificante observada nesta pesquisa.

A estabilidade da emulsão não foi afetada pela incorporação de 20% de torta de girassol e 20 e 30% de torta de cártamo na produção das farinhas compostas através de mistura convencional (Figura 19B). Já a incorporação de 30% torta de girassol na produção das farinhas compostas, resultou em um aumento significativo na estabilidade de emulsão. Silva et al. (2018) ao incorporarem farinha de girassol (25 a 50% em substituição a farinha de trigo) em bolos observaram que a farinha de girassol ajudou na estabilidade da emulsão da preparação, resultado que corrobora ao visto neste estudo.

O processo de extrusão não apresentou influência significativa nas farinhas compostas com 30% de torta de girassol e com 20 e 30% de torta de cártamo, em comparação com as farinhas similares obtidas por mistura simples.



**Figura 19.** Capacidade (A) e estabilidade (B) de emulsão da farinha de trigo e farinhas compostas desenvolvidas com 20% de torta de cártamo pelo processo de extrusão (FC20E) e mistura convencional (FC20M), 30% de torta de cártamo pelo processo de extrusão (FC30E) e mistura convencional (FC30M), 20% de torta de girassol pelo processo de extrusão (FG20E) e mistura convencional (FG20M) e 30% de torta de girassol pelo processo de extrusão (FG30E) e mistura convencional (FG30M).

\*Letras iguais para diferentes colunas indicam que não há diferença significativa ao nível de 95% ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Fonte: Elaboração própria

Em relação a farinha composta com 20% de torta de girassol, o processo de extrusão diminuiu significativamente a estabilidade da emulsão. Martinez et al. (2014) observaram que farinha de arroz extrusada em temperaturas mais brandas, em torno de 110°C, apresentaram maior estabilidade de emulsão que a mesma farinha



extrusada a 140°C. Em suma, uma maior exposição a altas temperaturas ocasiona menor estabilidade de emulsão. A partir do exposto supõe-se que a formulação com 20% de torta de girassol, apesar de ter sido extrusada na mesma temperatura que as demais formulações, possa ter sofrido maior impacto da temperatura ficando exposta por mais tempo dentro do barril.

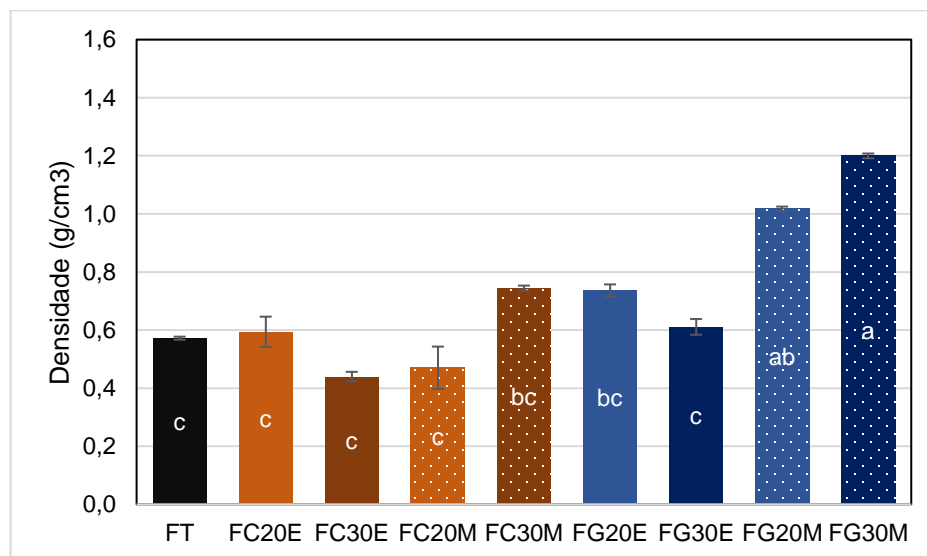
A estabilidade da emulsão é frequentemente relacionada a quantidade de proteínas da amostra. Durante a emulsificação, as proteínas formam membranas ao redor das gotículas de óleo facilitando sua estabilidade, o que aumenta a dispersão e previne o aglutinado dessas gotículas (ALUKO; MOFOLASAYO; WATTS, 2009). O resultado observado nesta pesquisa está de acordo com os dados contidos na literatura, em que amostras com maior quantidade de proteínas (Tabela 11) apresentaram maior estabilidade de emulsão.

Para confirmar uma relação linear positiva entre a quantidade de proteínas e a estabilidade de emulsão, realizou-se o teste de correlação de Pearson. A correlação de Pearson foi significativa e positiva, com correlação moderada ao considerar a farinha de trigo (0,65) e forte (0,89) ao considerar somente as farinhas compostas.

Resumidamente, a estabilidade de emulsão não foi afetada pela inserção de tortas ou pela metodologia de extrusão, de forma geral; o desenvolvimento de farinhas compostas pelo método de mistura convencional não afetou significativamente a capacidade de emulsão das farinhas compostas quando comparada a farinha de trigo, controle, sendo sua aplicação propícia em produtos cárneos, molhos para salada e sobremesas congeladas (OKPALA e MAMAH, 2001); e o uso do processo de extrusão, em comparação ao método de mistura convencional, reduziu significativamente a capacidade de emulsão, sendo a aplicabilidade desta farinha composta viável para produtos em que é possível a adição de emulsificantes, contudo, é válido ressaltar que em alguns casos o efeito secundário proporcionado pelo uso da farinha composta pode ser mais importante do que a formação da emulsão, por exemplo, em panificação um possível fortalecimento da massa e o retardamento do envelhecimento são características primordiais para fabricantes.

### 5.3.14. Densidade absoluta

As densidades ( $\rho_{abs}$ ) das farinhas estão expressas na Figura 20. O processo de extrusão na produção das farinhas compostas não apresentou influência significativa ( $p \leq 0,05$ ) sobre a  $\rho_{abs}$  das farinhas. Nota-se que a incorporação da torta de cártamo (em ambas as concentrações) não influenciou significativamente a  $\rho_{abs}$  das farinhas compostas, quando comparadas a farinha de trigo. Já as farinhas compostas com torta de girassol misturadas apresentaram um aumento expressivo da  $\rho_{abs}$ . Isso pode ser explicado pelo aumento da fração oleosa, que apresenta maior densidade que a farinha de trigo, provocando o aumento da  $\rho_{abs}$ , sendo as farinhas compostas misturadas com torta de girassol as que apresentaram maiores quantidades lipídios (Tabela 11), lembrando que as extrusadas expeliram lipídios no momento da extrusão, como já discorrido anteriormente (5.3.12).



**Figura 20.** Densidade da farinha de trigo (FT) e das farinhas compostas desenvolvidas com 20% de torta de cártamo pelo processo de extrusão (FC20E) e mistura convencional (FC20M), 30% de torta de cártamo pelo processo de extrusão (FC30E) e mistura convencional (FC30M), 20% de torta de girassol pelo processo de extrusão (FG20E) e mistura convencional (FG20M) e 30% de torta de girassol pelo processo de extrusão (FG30E) e mistura convencional (FG30M)..

\*Letras iguais para diferentes colunas indicam que não há diferença significativa ao nível de 95% ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Fonte: Elaboração própria

Ao comparar a  $\rho_{\text{abs}}$  com a razão de expansão dos produtos (tópico 5.2), pode-se perceber que os produtos com maior expansão apresentaram maiores densidades. Muitos autores relacionam a  $\rho_{\text{abs}}$  como inversamente proporcional a expansão dos extrusados, isto é, produtos com maior expansão apresentam menor  $\rho_{\text{abs}}$  (WANG; JIN; YUAN, 2007). Como dito anteriormente, neste estudo observou-se o oposto, os produtos com maiores expansões (FC20E e FG20E) apresentaram maior densidade. Ascheri, Carvalho e Araújo (2009), em seu estudo sobre a elaboração de cereal matinal através da extrusão de fubá de milho acrescidos de frutooligossacarídeo, também observaram um aumento da densidade absoluta e da densidade relativa em função do aumento dos frutooligossacarídeos os quais apresentaram maiores expansões e porosidade.

É válido discutir que a afirmação de que produtos com maiores expansões apresentam menor  $\rho_{\text{abs}}$  é insatisfatória por generalizar o assunto, pois não leva em conta elementos como a quantidade de extrato etéreo, de fibras do produto, e outros fatores que apresentam grande influência na densidade de produtos extrusados.

## **6. CONCLUSÃO**

As tortas de cártamo e girassol demonstraram ser uma boa alternativa a ser inserida na dieta humana, agregando alto valor nutricional a farinha composta. As farinhas compostas obtidas pelo método de mistura convencional apresentaram maior concentração de proteínas, minerais, compostos fenólicos, flavonoides, capacidade de emulsão e menor absorção de óleos, sendo sua aplicabilidade apropriada para molhos quentes a base de farinhas, molhos para saladas, sobremesas congeladas, cookies e massas para macarrão e produtos para fritura.

O uso do processo de extrusão na produção das farinhas compostas apresentou influência significativa em grande parte dos parâmetros e teve como benefício uma melhor homogeneização das matérias primas utilizadas, a redução da umidade, dos lipídios e das micotoxinas e aumento da atividade antioxidante. A extrusão aumentou, ainda, o índice de solubilidade em água, o índice de absorção de água em temperaturas de até 75 °C e aumentou o índice de absorção de óleos sendo sua aplicação propícia para produtos de panificação, embutidos cárneos e

lácteos. Apesar da diminuição de alguns compostos nutritivos provocados pelo processo de extrusão na produção das farinhas compostas, destaca-se que estas farinhas apresentaram maior concentração de proteínas, minerais e compostos fenólicos comparadas a farinha de trigo comum.

Há ainda lacunas que precisam ser preenchidas, tais como a quantificação da fibra alimentar, a influência do processo de extrusão na digestibilidade das proteínas, a variação dos parâmetros de extrusão sobre a capacidade emulsificante e a possível formação de amido resistente, sendo tais estudos sugeridos como análises futuras.

## 7. REFERÊNCIAS

- [ANVISA] AGENCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA; MINISTÉRIO DA SAÚDE. Resolução de Diretoria Colegiada– RDC No 07, de 18 de fevereiro de 2011. Diário Oficial da União Brasil Ministério da Saúde (MS) e Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), 18 fev. 2011. Disponível em: <[https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2011/res0007\\_18\\_02\\_2011\\_rep.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2011/res0007_18_02_2011_rep.html)>. Acesso em: 6 jul. 2023
- ABDALLA, A. L. et al. Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 37, n. spe, p. 260–268, jul. 2008.
- ADEBOWALE, A. A. et al. Mineral and Antinutrient Content of High Quality Cassava-Tigernut Composite Flour Extruded Snack. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 41, n. 5, p. 1–9, 2017.
- ADOM, K. K.; LIU, R. H. Antioxidant activity of grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 50, n. 21, p. 6182–6187, 9 out. 2002.
- AGRAHAR-MURUGKAR, D. et al. Effect of Egg-Replacer and Composite Flour on Physical Properties, Color, Texture and Rheology, Nutritional and Sensory Profile of Cakes. *Journal of Food Quality*, v. 39, n. 5, p. 425–435, out. 2016.
- AKGÜN, M.; SÖYLEMEZ, E. Determining the future trends of safflower plant in Türkiye. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, v. 6, n. 1, p. 50–57, 15 mar. 2022.
- ALAM, M. S.; PATHANIA, S.; SHARMA, A. Optimization of the extrusion process for development of high fibre soybean-rice ready-to-eat snacks using carrot pomace and cauliflower trimmings. *LWT - Food Science and Technology*, v. 74, p. 135–144, 2016.
- ALCÂNTARA, R. G. DE et al. Baking Effect on Resistant Starch Digestion from Composite Bread Produced with Partial Wheat Flour Substitution. *Journal of Food Quality*, p. 13, 2020.
- ALI, R. F. M. et al. Nutritional and sensory characteristics of bread enriched with roasted prickly pears seed flour. *Food & Function*, p. 1–22, 2020.
- AL-SAHLANY, S. T. G.; AL-MUSAFER, A. M. S. Effect of substitution percentage of banana peels flour in chemical composition, rheological characteristics of wheat flour and the viability of yeast during dough time. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, v. 19, n. 1, p. 87–91, 1 jan. 2020.

ALTAN, A.; MCCARTHY, K. L.; MASKAN, M. Effect of extrusion cooking on functional properties and in vitro starch digestibility of barley-based extrudates from fruit and vegetable by-products. *Journal of Food Science*, v. 74, n. 2, mar. 2009.

ALUKO, R. E.; MOFOLASAYO, O. A.; WATTS, B. M. Emulsifying and foaming properties of commercial yellow pea (*Pisum sativum* L.) seed flours. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 57, n. 20, p. 9793–9800, 28 out. 2009.

AOAC INTERNATIONAL; HORWITZ, W.; W. LATIMER, G. Official methods of analysis of AOAC International. 18. ed. Gaithersburg: Association of Official Analytical chemists, 2007. v. 1

ARRAGE, J. M.; BARBEAN, W. E.; JOHNSON, J. M. Protein Quality of Whole Wheat As Affected by Drum-Drying and Single-Screw Extrusion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 40, n. 10, p. 1943–1947, 1992.

ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. DE; ARAUJO, M. S. DE. Características Físicas de Cereal Matinal elaborado por Extrusão Enriquecido de Frutooligossacarídeo. *Comunicado técnico Embrapa*, v. 156, n. 1, p. 1–4, 2009.

ASSIS, R. Q. et al. Characterization of mutamba (*Guazuma ulmifolia* LAM.) fruit flour and development of bread. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 19, p. 1–7, 2019.

AWOLU, O. O.; OSEMEKE, R. O.; IFESAN, B. O. T. Antioxidant, functional and rheological properties of optimized composite flour, consisting wheat and amaranth seed, brewers' spent grain and apple pomace. *Journal of Food Science and Technology*, v. 53, n. 2, p. 1151–1163, 2016.

AWUCHI, CHINIZA-GODSWILL; IGWE, VICTORIA-SOMTOCHUKWU; ECHETA, CHINELO-KATE. The functional properties of foods and flours. *International Journal of Advanced Academic Research*, v. 5, n. 11, p. 139-160, 2019.

BACKES, R. L. et al. DESEMPENHO DE CULTIVARES DE GIRASSOL EM DUAS ÉPOCAS DE PLANTIO DE SAFRINHA NO PLANALTO NORTE CATARINENSE. *Scientia Agraria*, v. 9, n. 1, p. 041, 1 jan. 2008.

BADRIE, N.; MELLOWES, W. A. Effect of Extrusion Variables on Cassava Extrudates. *Journal of food science*, v. 56, n. 5, p. 1334–1337, 1991.

BANYTÉ, J.; BRAZIONIENÉ, LINA.; GADEIKIENE, A. Investigation of Green Consumer Profile: a Case of Lithuanian Market of Eco-Friendly Food Products. *Economics and Management*, v. 15, p. 374–383, 2010.

BASILIO-ATENCIO, J.; CONDEZO-HOYOS, L.; REPO-CARRASCO-VALENCIA, R. Effect of extrusion cooking on the physical-chemical properties of whole kiwicha (*Amaranthus caudatus* L) flour variety centenario: Process optimization. *LWT*, v. 128, 1 jun. 2020.

BELLO-PÉREZ, L. A. et al. Isolation and characterization of starch from seeds of *Araucaria brasiliensis*: A novel starch for application in food industry. *Starch/Staerke*, v. 58, n. 6, p. 283–291, jun. 2006.

BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power": The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, v. 239, n. 1, p. 70–76, jul. 1996.

BERENTI, A. M. et al. Effect of extrusion of soybean meal on feed spectroscopic molecular structures and on performance, blood metabolites and nutrient digestibility of Holstein dairy calves. *Animal Bioscience*, v. 34, n. 5, p. 855–866, 2021.

BERWANGER, E. et al. Nutritional and energy values of sunflower cake for broilers. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 35, n. 6, p. 3429–3438, 2014.

BJÖRCK, I.; ASP, N.-G.; DAHLQVIST, A. Protein Nutritional Value of Extrusion-Cooked Wheat Flours. *Food Chemistry*, v. 15, p. 203–214, 1984.

BOLARINWA, I. F.; ARUNA, T. E.; RAJI, A. O. Nutritive value and acceptability of bread fortified with moringa seed powder. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, v. 18, n. 2, p. 195–200, 2019.

BOLARINWA, I. F.; MUHAMMAD, K. Functional properties, antioxidant activities and storage stability of cookies from germinated brown rice and rice-potato starch composite flour. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, v. 42, n. 2, p. 503–518, 2019.

BORA, P.; RAGAE, S.; ABDEL-AAL, E. S. M. Effect of incorporation of goji berry by-product on biochemical, physical and sensory properties of selected bakery products. *Lwt*, v. 112, n. January, p. 108225, 2019.

BORBA, A. M.; SARMENTO, S. B. S.; LEONEL, M. EFEITO DOS PARÂMETROS DE EXTRUSÃO SOBRE AS PROPRIEDADES FUNCIONAIS DE EXTRUSADOS DA FARINHA DE BATATA-DOCE<sup>1</sup>. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 25, n. 4, p. 835–843, dez. 2005.

BOROSKI, M. et al. Antioxidantes: princípios e métodos analíticos. Curitiba: Ed. Appris, 2015.

BOZAN, B.; TEMELLI, F. Chemical composition and oxidative stability of flax, safflower and poppy seed and seed oils. *Bioresource Technology*, v. 99, n. 14, p. 6354–6359, 2008.

BRIGELIUS-FLOHÉ, R.; TRABER, M. G. Vitamin E: function and metabolism. *FASEB*, v. 13, p. 1145–1155, 1999.

BUENDÍA-RODRÍGUEZ, G. et al. Effect of dietary inclusion of safflower meal on ruminal fermentation, growth performance, carcass characteristics, and meat quality of lambs. *Canadian Journal of Animal Science*, v. 99, n. 2, p. 260–267, 1 jun. 2019.

BUGUSU, B. A.; CAMPANELLA, O.; HAMAKER, B. R. Improvement of Sorghum-Wheat Composite Dough Rheological Properties and Breadmaking Quality Through Zein Addition. *Cereal Chemistry Journal*, v. 78, n. 1, p. 31–35, jan. 2001.

ČAKAREVIĆ, J. et al. Pumpkin oil cake protein as a new carrier for encapsulation incorporated in food matrix: Effect of processing, storage and in vitro digestion on bioactivity. *International Journal of Food Science & Technology*, v. 56, n. 7, p. 3400–3408, 30 jul. 2021.

CAMARGO, D. et al. Response of by-products of sunflower seed processing to dilute-acid hydrolysis aiming fermentable sugar production. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, v. 12, n. 2, p. 239–246, 2014.

CARDOSO, G. J. et al. Arrowroot starch (*Maranta arundinacea*) as a bread ingredient for product development. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 46, n. 2, 1 fev. 2022.

CASTRO, L. A. DE et al. From Orange Juice By-Product in the Food Industry to a Functional Ingredient: Application in the Circular Economy. *Foods*, v. 9, n. 593, p. 17, 2020.

CAVALLIERI, A. L. F.; CUNHA, D. A. INFLUÊNCIA DA DESNATURAÇÃO TÉRMICA E DO PH SOBRE AS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE PROTEÍNAS DO SORO E SUA COMPATIBILIDADE TERMODINÂMICA COM A XANTANA. Dissertação—Campinas: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, mar. 2003.

CEDOLA, A. et al. Cereal foods fortified with by-products from the olive oil industry. *Food Bioscience*, v. 33, n. May 2018, p. 100490, 2020.

CERÓN-FERNANDEZ, C. L. et al. EFECTO DE LA EXTRUSIÓN SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE HARINA DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd). *Biocología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, v. 14, n. 2, p. 92–99, jul. 2015.

CERVERÓ, J. M. et al. Enzymatic hydrolysis and fermentation of palm kernel press cake for production of bioethanol. *Enzyme and Microbial Technology*, v. 46, n. 3–4, p. 177–184, mar. 2010.

CHAIYAKUL, S. et al. Effect of extrusion conditions on physical and chemical properties of high protein glutinous rice-based snack. *LWT - Food Science and Technology*, v. 42, n. 3, p. 781–787, 2009.

CHAKRABORTY, P. et al. Studies of nutrient rich edible leaf blend and its incorporation in extruded food and pasta products. *Materials Today: Proceedings*, v. 3, n. 10, p. 3473–3483, 2016.

CHÁVEZ, D. W. H. et al. Sorghum and roasted coffee blends as a novel extruded product: Bioactive compounds and antioxidant capacity. *Journal of Functional Foods*, v. 29, p. 93–103, 1 fev. 2017.

CHEFTEL, J. C. Nutritional Effects of Extrusion-Cooking\*. *Food Chemistry*, v. 20, p. 263–283, 1986.

CHOUDHURY, G. S.; GAUTAM, A. Hydrolyzed Fish Muscle as a Modifier of Rice Flour Extrudate Characteristics. *JOURNAL OF FOOD SCIENCE: Food Engineering and Physical Properties*, v. 68, p. 1713, 2003.

CIEÍLA, K.; ELIASSON, A.-C. DSC STUDIES OF  $\gamma$ -IRRADIATION INFLUENCE ON AMYLOSE-LIPID COMPLEX TRANSITION IN WHEAT FLOUR. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 79, p. 19–27, 2005.

DAS, P. C. et al. Comparison of the physico-chemical and functional properties of mango kernel flour with wheat flour and development of mango kernel flour based composite cakes. *NFS Journal*, v. 17, n. October, p. 1–7, 2019.

DAUDA, A. O. et al. Nutritional and consumers acceptance of biscuit made from wheat flour fortified with partially defatted groundnut paste. *LWT - Food Science and Technology*, v. 90, n. September 2017, p. 265–269, 2018.

DE LA ROSA-MILLÁN, J. et al. Effect of decortication, germination and extrusion on physicochemical and in vitro protein and starch digestion characteristics of black beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *LWT*, v. 102, p. 330–337, 1 mar. 2019.

DE MEDEIROS, M. M. L.; PONTES, D. F. ESTUDO DAS POTENCIALIDADES DA FARINHA DE AMÊNDOAS DE CASTANHAS DE CAJU (*Anacardium occidentale* L.) NA SUBSTITUIÇÃO TOTAL DE GORDURAS COMERCIAIS EM PRÉ-MISTURAS DE PÃES DE CURTA E LONGA FERMENTAÇÃO. tese—Fortaleza: UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ, 2020.

DE VARGAS, G. C.; HIAGO BELLAVER, E. ESTUDO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS COMPOSTOS FENÓLICOS NA MEDICINA PREVENTIVA: REVISÃO DE LITERATURA. STUDY OF THE ANTIOXIDANT ACTIVITY OF PHENOLIC COMPOUNDS IN PREVENTIVE MEDICINE: LITERATURE REVIEW. *Visão acadêmica*, v. 23, n. 1, p. 55–64, 2022.

DEHGHAN, M. et al. Associations of fats and carbohydrate intake with cardiovascular disease and mortality in 18 countries from five continents (PURE): a prospective cohort study. *The Lancet*, v. 390, n. 10107, p. 2050–2062, 1 nov. 2017.

DENDY, D. A. V. Composite Flour—Past, Present, and Future: A Review with Special Emphasis on the Place of Composite Flour in the Semi-Arid Zones. Em: GOMEZ, M. I. . et al. (Eds.). Utilization of Sorghum and Millets. Patancheru, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 1992. p. 77–85.

DENDY, D. A. V. Review of composite flour technology in the context of Tanzania. presented at the workshop: “Sorghum and millets marketing and utilization”, p. 24, 1993.

DHULL, S. B.; SANDHU, K. S. Wheat-fenugreek composite flour noodles: Effect on functional, pasting, cooking and sensory properties. Current Research in Nutrition and Food Science, v. 6, n. 1, p. 174–182, 2018.

DUODU, K. G. Effects of processing on antioxidant phenolics of cereal and legume grains. ACS Symposium Series. Anais...American Chemical Society, 2011.

EKUNSEITAN, O. F. et al. Nutritional composition, functional and pasting properties of wheat, mushroom, and high quality cassava composite flour. Journal of Food Processing and Preservation, v. 41, n. 5, p. e13150, out. 2017.

EMBRAPA. Prosa Rural - Girassol: uma fonte de energia do campo. . Acesso em: 22 jun. 2020.

EMONGOR, V. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) the underutilized and neglected crop: a review. Asian Journal of Plant Sciences, v. 9, n. 6, p. 299–306, 2010.

FAGUNDES, J. D. et al. Crescimento, desenvolvimento e retardamento da senescência foliar em girassol de vaso (*Helianthus annuus* L.): fontes e doses de nitrogênio. Ciência Rural, v. 37, n. 4, p. 987–993, ago. 2007.

FAO, F. AND A. O. OF THE U. N.; WORD HEALTH ORGANIZATION. STANDARD FOR WHEAT FLOUR. Codex Alimentarius - International Food Standards United Nations FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nation, , 1985. Disponível em: <[https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B152-1985%252FCXS\\_152e.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B152-1985%252FCXS_152e.pdf)>. Acesso em: 11 jul. 2023

FAO, F. AND A. O. OF THE U. N.; WORD HEALTH ORGANIZATION. STANDARD FOR WHEAT FLOUR. Codex Alimentarius - International Food Standards United Nations FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nation, , 1985. Disponível em: <[https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B152-1985%252FCXS\\_152e.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B152-1985%252FCXS_152e.pdf)>. Acesso em: 11 jul. 2023

FAOSTAT. Crop production data. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>. Acesso em: 1 mar. 2022.

FAPOJUWO, O. O.; MAGA, J. A.; JANSEN, G. R. Effect of Extrusion Cooking on in Vitro Protein Digestibility of Sorghum. Journal of Food Science, v. 52, n. 1, p. 218–219, 1987.

FEDRIZI, L. F. B.; CARNEIRO, DALTON. J. DIGESTIBILIDADE DE NUTRIENTES, CRESCIMENTO E VARIÁVEIS METABÓLICAS EM TILÁPIAS DO NILO ALIMENTADAS COM FONTES DE CARBOIDRATOS PELETIZADAS, EXTRUSADAS OU CRUAS. Tese—Jaboticabal: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, 2009.

FILHO, C.; SILVA, ; SOUSA, F. C. APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS NA ELABORAÇÃO DE SUBPRODUTOS. II Congresso Internacional das Ciências Agrárias, p. 1–8, 2017.



- FISCHER, T. Effect of extrusion cooking on protein modification in wheat flour. *European Food Research and Technology*, v. 218, n. 2, p. 128–132, 2004.
- FLEISCHMAN, E. F. et al. Physical, Textural, and Antioxidant Properties of Extruded Waxy Wheat Flour Snack Supplemented with Several Varieties of Bran. *Journal of Food Science*, v. 81, n. 11, p. E2726–E2733, 2016.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Perdas e desperdícios de alimentos na América Latina e no Caribe.
- FOOD INGREDIENTS BRASIL. Dossiê antioxidantes. *Revista-fi*, v. 6, n. 1, p. 1–16, 2009.
- FRANCISQUINI, J. D. A., MARTINS, E., SILVA, P. H. F., SCHUCK, P., PERRONE, Í. T., & CARVALHO, A. F. Reação de Maillard: uma revisão. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, v. 72, n. 1, p. 48-57, 2017.
- FRANCO, L. T.; OLIVEIRA, C. A. F. Assessment of occupational and dietary exposures of feed handling workers to mycotoxins in rural areas from São Paulo, Brazil. *Science of the Total Environment*, v. 837, 1 set. 2022.
- FRANCO, R. Sunflower Oil Functional Properties for Specialty Food. *Nutrition & Food Science International Journal*, v. 5, n. 4, p. 4–7, 2018.
- FRANCO, S. H.; PINTO, V. Z. P. ASPECTOS TECNOLÓGICOS E CONCENTRAÇÃO DE AMIDO RESISTENTE DE BANANA VERDE (*Musa sp.*) EM PÃO CONGELADO. Laranjeiras do sul: UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL, 2016.
- GANESAN, A. R. et al. Distribution, toxicity, interactive effects, and detection of ochratoxin and deoxynivalenol in food: A review. *Food Chemistry Elsevier Ltd*, , 1 jun. 2022.
- GARCIA-VALLE, D. E. et al. Extruded unripe plantain flour as an indigestible carbohydrate-rich ingredient. *Frontiers in Nutrition*, v. 6, 5 fev. 2019.
- GBENGA-FABUSIWA, F. J. et al. Glycemic Response in Diabetic Subjects to Biscuits Produced from Blends of Pigeon Pea and Wheat Flour. *Plant Foods for Human Nutrition*, v. 74, n. 4, p. 553–559, 2019.
- GBENGA-FABUSIWA, F. J. et al. Nutritional properties, sensory qualities and glycemic response of biscuits produced from pigeon pea-wheat composite flour. *Journal of Food Biochemistry*, v. 42, n. 4, p. 1–11, 2018.
- GENTIL, R. DE M.; SERRA, J. C. V.; CASTRO, R. B. DE. RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS PROVENIENTES DA EXTRAÇÃO DE OLEAGINOSAS PARA BIODIESEL E SEUS POTENCIAIS DE USO. *Revista eletrônica do curso de geografia - campus Jataí UFG*, n. 18, p. 16, 2012.
- GINTING, E.; YULIFIANTI, R. Characteristics of Noodle Prepared from Orange-fleshed Sweet Potato, and Domestic Wheat Flour. *Procedia Food Science*, v. 3, p. 289–302, 2015.
- GOMES, J. C. et al. DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FARINHAS DE FEIJÃO. *Revista Ceres*, v. 53, p. 548–558, 2006.
- GOMES, P. T. G. PRODUÇÃO DE AMIDO RESISTENTE MISTO POR EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA E APLICAÇÃO EM BISCOITO CREAM CRACKER SEM GLÚTEN. Dissertação—Diamantina: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, 2020.
- GRANT, W. D. et al. Life at low water activity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. Anais...Royal Society*, 29 ago. 2004.

GUARDADO-FÉLIX, D. et al. Effect of partial replacement of wheat flour with sprouted chickpea flours with or without selenium on physicochemical, sensory, antioxidant and protein quality of yeast-leavened breads. *Lwt*, v. 129, n. 109517, p. 1–7, 2020.

GUJSKA, E.; KHAN, K. Functional Properties of Extrudates from High Starch Fractions of Navy and Pinto Beans and Corn Meal Blended with Legume High Protein Fractions. *Journal of Food Science*, v. 56, n. 2, p. 431–435, mar. 1991.

GULATI, P.; BRAHMA, S.; ROSE, D. J. Impacts of extrusion processing on nutritional components in cereals and legumes: Carbohydrates, proteins, lipids, vitamins, and minerals. Em: *Extrusion Cooking*. [s.l.] Elsevier, 2020. p. 415–443.

GUO, H. NAN et al. Application of machine learning methods for the prediction of organic solid waste treatment and recycling processes: A review. *Bioresource Technology* Elsevier Ltd, , 1 jan. 2021.

H. VENKATESH KAMATH et al. Microwave Assisted Hydrolysis of Cellulose to Release Sugars from Pongamia Oil Cake for its use in Bioethanol Production. *Chemical Science Transactions*, v. 7, n. 4, 26 out. 2018.

HAGENIMANA, A.; DING, X.; FANG, T. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, v. 43, n. 1, p. 38–46, 2006.

HAGENIMANA, A.; DING, X.; FANG, T. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, v. 43, n. 1, p. 38–46, 2006.

HALLIWELL, B. Antioxidant Defence Mechanisms: From the Beginning to the End (of the Beginning). *Free Rad. Res.*, v. 31, p. 261–272, 1999.

HASMADI, M. et al. Functional properties of composite flour: A review. *Food Research Rynnye Lyan Resources*, , 1 dez. 2020.

HERTEL, D. W. Exploring s-CIELAB as a scanner metric for print uniformity. *Image Quality and System Performance II. Anais...SPIE*, 17 jan. 2005.

HIDAYAH, N. et al. Physical and sensory evaluation of muffin incorporated with rubber seed (*hevea brasiliensis* ) flour, pumpkin (*Cucurbita moschata* ) flour and cassava (*Manihot esculenta crantz* ) flour. *Journal of Agrobiotechnology*, v. 10, n. 101, p. 1–12, 2019.

HOSSEINZADEH SAMANI, B. et al. Evaluation of an enhanced ultrasonic-assisted biodiesel synthesized using safflower oil in a diesel power generator. *Biofuels*, v. 11, n. 4, p. 523–532, 18 maio 2020.

ICTA, I. DE C. E T. DE A. Avaliação da qualidade tecnológica industrial de farinha de trigo. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/napead/projetos/avaliacao-farinha-trigo/1b.php>>. Acesso em: 18 jan. 2023.

IGBUA, F. Z. et al. Antinutrients and Bioavailability of Nutrients in Maize, Cassava and Soybeans Composite Flour. *Asian Food Science Journal*, v. 16, n. 2, p. 5–12, 2020.

INDRIANI, S. et al. Quality characteristics of protein-enriched brown rice flour and cake affected by Bombay locust (*Patanga succincta* L.) powder fortification. *Lwt*, v. 119, n. 108876, p. 1–10, 2020.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físicos-químicos para análise de Alimentos. Instituto Adolfo Lutz, v. IV edição, p. 1000, 2008.

JANIĆ HAJNAL, E. et al. Possibility of Alternaria toxins reduction by extrusion processing of whole wheat flour. *Food Chemistry*, v. 213, p. 784–790, dez. 2016.

- Jl, Y. et al. Extraction and determination of flavonoids in *Carthamus tinctorius*. *Open Chemistry*, v. 16, n. 1, p. 1129–1133, 2018.
- JIA, F.; MA, Z.; HU, X. Controlling dough rheology and structural characteristics of chickpea-wheat composite flour-based noodles with different levels of *Artemisia sphaerocephala* Krasch. gum addition. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 150, p. 605–616, 2020.
- KALAGATUR, N. K. et al. Inhibitory effect of *C. zeylanicum*, *C. longa*, *O. basilicum*, *Z. officinale*, and *C. martini* essential oils on growth and ochratoxin A content of *A. ochraceus* and *P. verrucosum* in maize grains. *Biotechnology Reports*, v. 27, 1 set. 2020.
- KAUR, M.; SINGH, V.; KAUR, R. Effect of partial replacement of wheat flour with varying levels of flaxseed flour on physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of cookies. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, v. 9, n. November 2016, p. 14–20, 2017.
- KAUR, P. et al. Effect of addition of flaxseed flour on phytochemical, physicochemical, nutritional, and textural properties of cookies. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, v. 18, n. 4, p. 372–377, 2019.
- KAYITESI, E. et al. Nutritional quality and antioxidant activity of marama-sorghum composite flours and porridges. *Food Chemistry*, v. 131, n. 3, p. 837–842, 1 abr. 2012.
- KILLEIT, U. Vitamin retention in extrusion cooking. *Food Chemistry*, v. 49, n. 2, p. 149–155, jan. 1994.
- KRAHL, J. et al. Exhaust emissions and health effects of particulate matter from agricultural tractors operating on rapeseed oil methyl ester. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, v. 79, n. 7, p. 717–724, jul. 2002.
- LEONARD, W. et al. Application of extrusion technology in plant food processing byproducts: An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 19, n. 1, p. 218–246, 2020.
- LING, M.-Y.; CHOU, C.-C. Biochemical changes during the preparation of soy sauce koji with extruded and traditional raw materials. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 31, n. 6, p. 511–517, dez. 1996.
- LIU, Q. et al. Physicochemical and antioxidant properties of Maillard reaction products formed by heating whey protein isolate and reducing sugars. *International Journal of Dairy Technology*, v. 67, n. 2, p. 220–228, 2014.
- LIU, H. et al. Effects of standard wheat flour proportion in total dietary carbohydrates on blood glucose, lipid metabolism, and inflammation in mice. *Food and Agricultural Immunology*, v. 30, n. 1, p. 804–816, 2019.
- MABERLY, G. et al. Trends in wheat-flour fortification with folic acid and iron - Worldwide, 2004 and 2007. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm5701a4.htm>>. Acesso em: 22 jun. 2020.
- MAKINDE, F. M.; EYITAYO, A. O. The evaluation of nutritional composition and functional and pasting properties of wheat flour-coconut flour blends. *Croatian journal of food science and technology*, v. 11, n. 1, p. 21–29, 31 maio 2019.
- MAMAT, H. et al. The Influence of Seaweed Composite Flour on the Physicochemical Properties of Muffin. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, v. 27, n. 5, p. 635–642, 2018.

MAPA. Instrução Normativa 8/2005 - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=803790937>>. Acesso em: 2 mar. 2022.

MARTÍNEZ, M. M. et al. Effect of Different Extrusion Treatments and Particle Size Distribution on the Physicochemical Properties of Rice Flour. *Food and Bioprocess Technology*, v. 7, n. 9, p. 2657–2665, 2014.

MARTÍNEZ, M. M. et al. Effect of Different Extrusion Treatments and Particle Size Distribution on the Physicochemical Properties of Rice Flour. *Food and Bioprocess Technology*, v. 7, n. 9, p. 2657–2665, 2014.

MARTINEZ-FLORES, H. E. et al. Sensorial and biological evaluation of an extruded product made from corn supplemented with soybean and safflower pastes. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 40, n. 5, p. 517–524, 2005.

MCLEAN, J. A. et al. Lipid-soluble and water-soluble antioxidant activities of the avian intestinal mucosa at different sites along the intestinal tract. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, v. 141, n. 3, p. 366–372, jul. 2005.

MENG, Y. et al. The rheology and microstructure of composite wheat dough enriched with extruded mung bean flour. *LWT*, v. 109, p. 378–386, 1 jul. 2019.

MISHRA, S.; RAI, T. Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. *Food Hydrocolloids*, v. 20, n. 5, p. 557–566, jul. 2006.

MOHAMED, A. A.; RAYAS-DUARTE, P. The effect of mixing and wheat protein/gluten on the gelatinization of wheat starch. *Food chemistry*, v. 81, p. 533–545, 2002.

MOSCATTO, J. A.; FERREIRA, S. H. P.; HAUALY, M. C. O. Farinha de Yacon e inulina como ingredientes na formulação de bolo de chocolate. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 24, n. 2, p. 634–640, 2004.

MÜNDEL, H. H.; (CANADA), L. R. C. Safflower production on the Canadian prairies: revisited in 2004. Lethbridge, Alta.: Lethbridge Research Station, Agriculture and Agri-Food Canada., 2004.

NASCIMENTO, E. M. DA G. C. DO et al. Use of sesame oil cake (*Sesamum indicum* L.) on corn expanded extrudates. *Food Research International*, v. 45, n. 1, p. 434–443, jan. 2012.

NASCIMENTO, K. O.; WANG, S. H. Emulsifying properties of wheat flour and soy precooked by extrusion. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 8, n. 1, p. 117–124, 2013.

NÁTHIA-NEVES, G.; ALONSO, E. Valorization of sunflower by-product using microwave-assisted extraction to obtain a rich protein flour: Recovery of chlorogenic acid, phenolic content and antioxidant capacity. *Food and Bioprocess Technology*, v. 125, p. 57–67, 1 jan. 2021.

NEDER-SUÁREZ, D. et al. Optimization of an Extrusion Cooking Process to Increase Formation of Resistant Starch from Corn Starch with Addition of Citric Acid. *Starch/Staerke*, v. 72, n. 3–4, 1 mar. 2020.

NEPA, N. DE E. E PESQUISAS EM A.; UNICAMP, U. DE C. Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO 4a edição revisada e ampliada . 4. ed. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2011.

- NOGALES-DELGADO, S.; ENCINAR, J. M.; GONZÁLEZ, J. F. Safflower Biodiesel: Improvement of its Oxidative. *Energies*, v. 12, p. 19–22, 2019.
- OELKE, E. A. et al. Safflower alternative field crop manual. Horticulture and Landscape Architecture, Purdue University, p. 8, 1992.
- Okpala, L.C. and MAMAH, E.N. Functional properties of raw and processed pigeonpea (*Cajanus cajan*) flour. *International journal of food sciences and nutrition*, v. 52, n. 4, p. 343-346, 2001.
- OLIVEIRA, L. C. et al. Physical and thermal properties and X-ray diffraction of corn flour systems as affected by whole grain wheat flour and extrusion conditions. *Starch/Staerke*, v. 69, n. 9–10, 1 set. 2017.
- OLIVEIRA, M. D. S. DE et al. COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA E DIGESTIBILIDADE RUMINAL IN VITRO DE CONCENTRADOS CONTENDO DIFERENTES NÍVEIS DE TORTA DE GIRASSOL. *Ciencia Animal Brasileira*, v. 8, n. 4, p. 629–639, 2007.
- OLKKU, J.; RHA, C. Gelatinisation of starch and wheat flour starch—A review. *Food Chemistry*, v. 3, n. 4, p. 293–317, out. 1978.
- OLORUNFEMI, M. A.; AWOLU, O. O.; ENUJIUGHA, V. N. Evaluation of the chemical, antinutritional and antioxidant properties of composite flour comprising native and modified acha (*digitaria exilis stapf*) flour supplemented with mango kernel seed and soy cake flours. *Food Science and Technology International*, v. 0, n. 0, p. 10, 2 fev. 2021.
- OSBORNE, D. R.; VOOGT, P. Calculation of calorific value. Em: *The analysis of Nutrients in Foods*. New York: Academic Press, 1978. p. 23–34.
- OU, B.; HAMPSCH-WOODILL, M.; PRIOR, R. L. Development and Validation of an Improved Oxygen Radical Absorbance Capacity Assay Using Fluorescein as the Fluorescent Probe. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 49, n. 10, p. 4619–4626, 1 out. 2001.
- PASQUALONE, A. et al. Effect of acorn flour on the physico-chemical and sensory properties of biscuits. *Heliyon*, v. 5, n. 8, p. e02242, 2019.
- PEREIRA, E. S. et al. Torta de girassol em rações de vacas em lactação: produção microbiana, produção, composição e perfil de ácidos graxos do leite. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 33, n. 4, 9 set. 2011.
- PETRARU, A.; URSACHI, F.; AMARIEI, S. Nutritional characteristics assessment of sunflower seeds, oil and cake. Perspective of using sunflower oilcakes as a functional ingredient. *Plants*, v. 10, n. 11, 1 nov. 2021.
- PHILIPPI, S. T. Pirâmide dos alimentos: fundamentos básicos da nutrição. 3a ed. São Paulo: Editora Manole, 2015.
- PIGHINELLI, A. L. M. T. et al. Otimização da prensagem de grãos de girassol e sua caracterização. [s.l: s.n.].
- PINTADO, M. E.; TEIXEIRA, J. A. Valorização de subprodutos da indústria alimentar: obtenção de ingredientes de valor acrescentado. Em: *Boletim de Biotecnologia*. Portugal: [s.n.]. p. 10–13.
- PRABHASANKAR, P.; HARIDAS RAO, P. Effect of different milling methods on chemical composition of whole wheat flour. *European Food Research and Technology*, v. 213, n. 6, p. 465–469, 2001.

PUNIA BANGAR, S. et al. Enrichment in Different Health Components of Barley Flour Using Twin-Screw Extrusion Technology to Support Nutritionally Balanced Diets. *Frontiers in Nutrition*, v. 8, 27 jan. 2022.

QUEJI, M.F.D.; SCHEMIN, M.H.C.; TRINDADE, J.L.F. Propriedades reológicas da massa de farinha de trigo adicionada de alfa-amilase. *Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharias*, v.12, n.2, p.21-29, 2006.

RAI, A.; MOHANTY, B.; BHARGAVA, R. Supercritical extraction of sunflower oil: A central composite design for extraction variables. *Food Chemistry*, v. 192, p. 647–659, 2016.

RAMACHANDRAN, S. et al. Oil cakes and their biotechnological applications - A review. *Bioresource Technology*, v. 98, n. 10, p. 2000–2009, jul. 2007.

RANI, R.; BADWAIK, L. S. Functional Properties of Oilseed Cakes and Defatted Meals of Mustard, Soybean and Flaxseed. *Waste and Biomass Valorization*, v. 12, n. 10, p. 5639–5647, 1 out. 2021.

RIVERO-PÉREZ, M. D.; MUÑIZ, P.; GONZÁLEZ-SANJOSÉ, M. L. Antioxidant profile of red wines evaluated by total antioxidant capacity, scavenger activity, and biomarkers of oxidative stress methodologies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 55, n. 14, p. 5476–5483, 11 jul. 2007.

ROMAN, L. et al. Shear scission through extrusion diminishes inter-molecular interactions of starch molecules during storage. *Journal of Food Engineering*, v. 238, n. June, p. 134–140, 2018.

RUFINO, M. DO S. M. et al. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre DPPH. Embrapa, p. 1–4, 2007.

RUMSEY, D. J. HOW TO INTERPRET A CORRELATION COEFFICIENT R. Em: *Statistics for dummies*. 2nd. ed. Ohio: For dummies, 2016. p. 16.

SARTO, M. V. M. et al. Safflower root and shoot growth affected by soil compaction. *Bragantia*, v. 77, n. 2, p. 348–355, jun. 2018.

SCHOCH, T. J.; LEACH, H. W. Determination of absolute density. Liquid displacement. In: Whistler, R. L. & Wolfrom, M. L. *Methods in carbohydrate chemistry*. , v. 4, p. 101–103, 1964.

SEIBEL, W. “Composite flour”, *Future of flour: A Compendium of Flour Improvement*. Hamburg: Verlag Agri Media, 2006.

SIGNOR, A. et al. Lisina em dietas para alevinos de carpa comum. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 43, n. 3, p. 464–473, 2017.

SILVA, I. S. et al. ANÁLISE SENSORIAL DE BOLO ADICIONADO DA FARINHA DE GIRASSOL (*Helianthus annuus*). Em: *Nutrição e saúde*. [s.l: s.n.]. v. 1p. 76–97.

SINGH, N.; SMITH, A. C. A Comparison of Wheat Starch, Whole Wheat Meal and Oat Flour in the Extrusion Cooking Process. *Journal of Food Engineering*, v. 34, p. 15–32, 1998.

SINGH, S.; GAMLATH, S.; WAKELING, L. Nutritional aspects of food extrusion: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 42, n. 8, p. 916–929, ago. 2007.

SINGH, U.; SINGH, B. Functional Properties of Sorghum-Peanut Composite Flour. *Cereal Chem.*, v. 68, n. 5, p. 460–463, 1991.

SINGHA, P.; MUTHUKUMARAPPAN, K. Single screw extrusion of apple pomace-enriched blends: Extrudate characteristics and determination of optimum processing conditions. *Food Science and Technology International*, v. 24, n. 5, p. 447–462, 2018.

SINGHA, P.; MUTHUKUMARAPPAN, K.; KRISHNAN, P. Influence of processing conditions on apparent viscosity and system parameters during extrusion of distiller's dried grains-based snacks. *Food Science and Nutrition*, v. 6, n. 1, p. 101–110, 2018.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Em: [s.l: s.n.]*. p. 152–178.

SHIBAO, J., & Bastos, D. H. M. Produtos da reação de Maillard em alimentos: implicações para a saúde. *Revista de Nutrição*, v. 24, p. 895-904, 2011.

SÖDERHOLM, P.; LUNDMARK, R. The Development of Forest-based Biorefineries: Implications for Market Behavior and Policy. *Forest products journal*, v. 59, n. 1/2, p. 6–16, 2009.

SONG, J. et al. Release of characteristic phenolics of quinoa based on extrusion technique. *Food Chemistry*, v. 374, 16 abr. 2022.

SOSULSKI, F.; GARRATT, M.; SLIMKARD, A. Functional Properties of Ten Legume Flours. v. 9, p. 66–69, 1976.

TROLLER, J.; CHRISTIAN, J. H. B. *Water Activity and Food*. 1st. ed. New York: Academic Press INC, 1978.

TUHUMURY, H. C. D.; SMALL, D. M.; DAY, L. The effect of sodium chloride on gluten network formation and rheology. *Journal of Cereal Science*, v. 60, n. 1, p. 229–237, 2014.

TUMWINE, G. et al. Production of nutrient-enhanced millet-based composite flour using skimmed milk powder and vegetables. *Food Science and Nutrition*, v. 7, n. 1, p. 22–34, 2019.

UDOMKUN, P. et al. Promoting the use of locally produced crops in making cereal-legume-based composite flours: An assessment of nutrient, antinutrient, mineral molar ratios, and aflatoxin content. *Food Chemistry*, v. 286, n. October 2018, p. 651–658, 2019.

ULLAH, F. et al. Quality Evaluation of Biscuits Supplemented with Alfalfa Seed Flour. *Foods*, v. 5, n. 4, p. 68, 2016.

USDA - U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. FoodData Central. Disponível em: <<https://fdc.nal.usda.gov/index.html>>. Acesso em: 18 jan. 2023.

USDA. Oilseeds: World Markets and Trade. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://public.govdelivery.com/accounts/USDAFAS/subscriber/new>>.

USDA. Safflower Genetic Resources Plant Germplasm Introduction and Testing Research. [s.l: s.n.].

VALCIR, C.; OLIVEIRA, K. D. E. *Análise do cártamo como cultura energética*. 2016.

VAN SOEST, J. J. G.; Vliegenthart, J. F. G. Crystallinity in starch plastics: consequences for material properties. *Trends Biotechnology*, v. 15, p. 208–213, jun. 1997.

VASANTHAN, T. et al. Dietary fiber profile of barley flour as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, v. 77, p. 35–40, 2002.

VENKATESH, K. H.; RAO, V. C. Value addition to Pongamia biodiesel industry through bioethanol production from pressed oil cake using *Bacillus cereus*. *BioTechnologia*, v. 101, n. 2, p. 147–158, 2020.

VISSER, E. M. et al. Bioethanol production potential from Brazilian biodiesel co-products. *Biomass and Bioenergy*, v. 35, n. 1, p. 489–494, 2011.

- WANG, J.; JIN, Z.; YUAN, X. Preparation of resistant starch from starch-guar gum extrudates and their properties. *Food Chemistry*, v. 101, n. 1, p. 20–25, 2007.
- WANG, L. et al. Steam Explosion Pretreatment for Improving Wheat Bran Extrusion Capacity. *Foods*, v. 11, n. 18, 1 set. 2022.
- WEISS, E. A. Oilseed processing and products. Em: Oilseed crops. [s.l.] Longman, 1983. p. 528–596.
- XING, S. et al. The impacts of physical properties of extruded feed on the digestion kinetics, gastrointestinal emptying and stomach water fluxes of spotted seabass (*Lateolabrax maculatus*). *Aquaculture*, v. 570, 30 maio 2023.
- YANG, H. et al. Evaluation of mannitol and xylitol on the quality of wheat flour and extruded flour products. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 56, n. 8, p. 4119–4128, 1 ago. 2021.
- YASUMATSU, K. et al. Whipping and Emulsifying Properties of Soybean Products. *Agricultural and Biological Chemistry*, v. 36, n. 5, p. 719–727, 9 maio 1972.
- YE, J. et al. Modification of the digestibility of extruded rice starch by enzyme treatment ( $\beta$ -amylolysis): An in vitro study. *Food Research International*, v. 111, n. June, p. 590–596, 2018.
- YE, J. et al. Synthesis and characterization of citric acid esterified rice starch by reactive extrusion: A new method of producing resistant starch. *Food Hydrocolloids*, v. 92, p. 135–142, jul. 2019.
- ZAIDUL, I. S. M. et al. DSC study of mixtures of wheat flour and potato, sweet potato, cassava, and yam starches. *Journal of Food Engineering*, v. 86, n. 1, p. 68–73, maio 2008.
- ZASYPKIN, D. V.; LEE, T. C. Extrusion of soybean and wheat flour as affected by moisture content. *Journal of Food Science*, v. 63, n. 6, p. 1058–1061, 1998.
- ZOBEL, H. F.; YOUNG, S. N.; ROCCA, L. A. Starch Gelatinization: An X-ray Diffraction Study'. *Cereal Chemistry*, v. 65, n. 6, p. 443–446, 1986.



## ANEXO 1

### Could news composite flours represent a strategy for food security and nutrition health?

Amadeu, C. A. A. <sup>1</sup>; Martelli, S. M. <sup>2</sup>; Vanin, F. M. <sup>1\*</sup>.

<sup>1</sup>*Food Engineering Department, University of São Paulo, Faculty of Animal Science and Food Engineering (USP/FZEA), Laboratory of Bread and Dough Process (LAPROPAMA), Av. Duque de Caxias Norte 225, 13635-900, Pirassununga, SP, Brazil.*

<sup>2</sup> *Food Science and Technology Post Graduate Program, Food Engineering Department, Great Dourados Federal University, Faculty of Engineering, (FAEN/UFGD).*

\*Corresponding author: fernanda.vanin@usp.br

Duque de Caxias Norte, 225 - Jardim Elite, Pirassununga - SP, Brazil. Zip code: 13635-900

### ORCID

Amadeu, C. A. A.: 0000-0003-1893-1236

Martelli, S. M.: 0000-0003-0890-8606

Vanin, F. M.: 0000-0001-5583-7092

### Abstract

**Background and objectives:** Global hunger and the prevalence of severe food malnutrition have increased worldwide, and these aspects underlined the need to develop new nutritive food products. Composite flour (CF) is a growing technology that aims to increase the nutritional composition of flour. Thus, this study aimed to systematically search and investigate studies that have examined the effect of CF development and its properties. Besides, perspectives to better use CF as a real source of nutritional ingredients were underlined.

**Findings:** Different materials have been used for CF elaboration, and the use in bakery products improves nutritional composition, mainly protein, fiber and phenolic compounds content, besides to provide products with good sensorial acceptance. However, the higher protein concentration on CF is not accompanied by a higher protein digestibility, and generally, this property is not evaluated to guarantee the nutritional improvement of protein aspects.

**Conclusions:** CF could represent a strategy for food security and nutritional health, particularly in terms of protein intake. However, to ensure proteins absorption, further protein digestibility studies must be conducted. Also, the extrusion process seems to represent a strategy for the production of cheaper and nutritional CF with improved nutritional value and high protein digestion capacity.

**Keywords:** functional flour, flour blend, mixed flour, nutritional improvement, hunger.

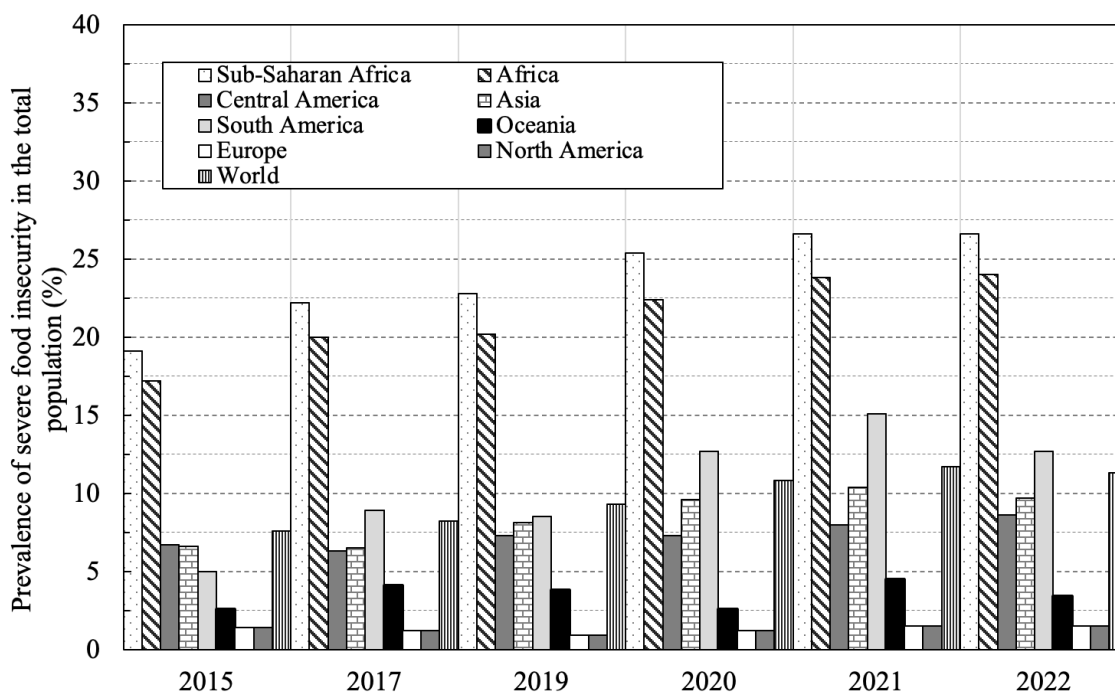
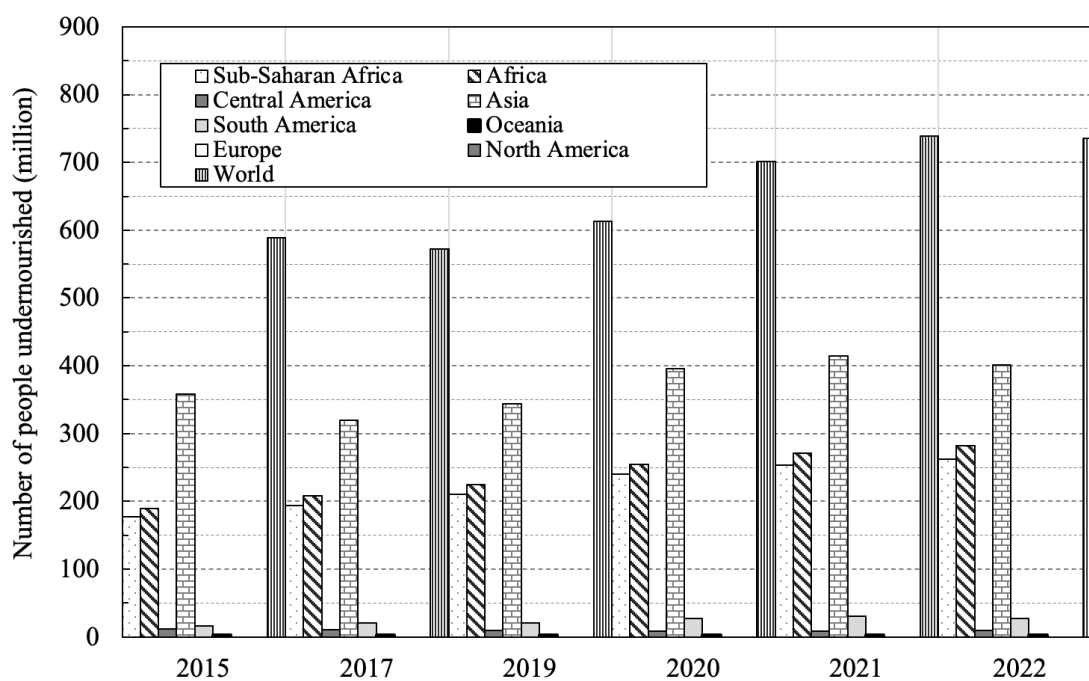
## 1. INTRODUCTION

According to the Food and Agriculture Organization (FAO) global hunger and the prevalence of severe food malnutrition have grown worldwide, especially over the last

years (Figure 1) (FAO et al., 2023) . In 2015, more than 588 million of the world's population were undernourished, compared to 270 and 281 million in 2021 and 2022, respectively, demonstrating a concerning increasing tendency (Figure 1A) (FAO et al., 2023). Similarly, the severe food insecurity in the total population in 2015 reached approximately 7.6%, compared to 11.7 and 11.3, in 2021 and 2022, respectively, (Figure 1B) (FAO et al., 2023). If this tendency is maintained for the next years, it could be expected that in 2032, 20% of the world's population will live in a severe food insecurity situation. Furthermore, there are market discrepancies between developed and developing regions (Figure 1B) (FAO, 2020b). In Sub-Saharan Africa, Africa, South America, and Central America in 2021, the prevalence of severe food insecurity reached 26.6, 23.80, 15.1, and 8% of their populations, respectively (FAO, 2020b) (Figure 1B).

All of these aspects underlined the requirement to develop new nutritive food products, innovate, and create technological advances to develop “healthy” products in the food sector (Banyté et al., 2010; Signor et al., 2017), especially for regions where food hunger and food security are increasing.

Cereal, together with fruits and vegetables, constitutes the bottom of the food pyramid, and their composition is mostly attributed to starchy carbohydrates, which are essential for human consumption (Harvard School of Public Health Department of Nutrition, 2005).



**Figure 1.** Evolution between the years of 2015 and 2022 of people undernourished (Fig. 1A) and prevalence of severe food insecurity in the world (Fig. 1B). \*In Figure 1A the values for Europe and North America were not reported as the prevalence is less than 2.5 percent.

Source: data adapted from FAO

Wheat is the only cereal capable of forming viscoelastic dough when its flour is mixed with water. In addition, wheat dough is the only dough capable of retaining the carbon dioxide produced during fermentation. These characteristics are responsible for the popularity of wheat products. However, the nutritional value of wheat products is questionable. Wheat flour has a lower protein content, a high carbohydrate content, and a high glycemic index, and large consumption of this cereal could increase the risk of developing chronic diseases (Maberly et al., 2008).

Therefore, from a technological point of view, it is not logical to use other cereals and/or other foods for the production of bread or bakery products. On the other hand, the incorporation of flours obtained from other sources could represent an important nutritional strategy, as previously used to ensure folic acid consumption (Maberly et al., 2008) besides to be more convenient to use local products instead of importing wheat, for example (Shittu et al., 2007).

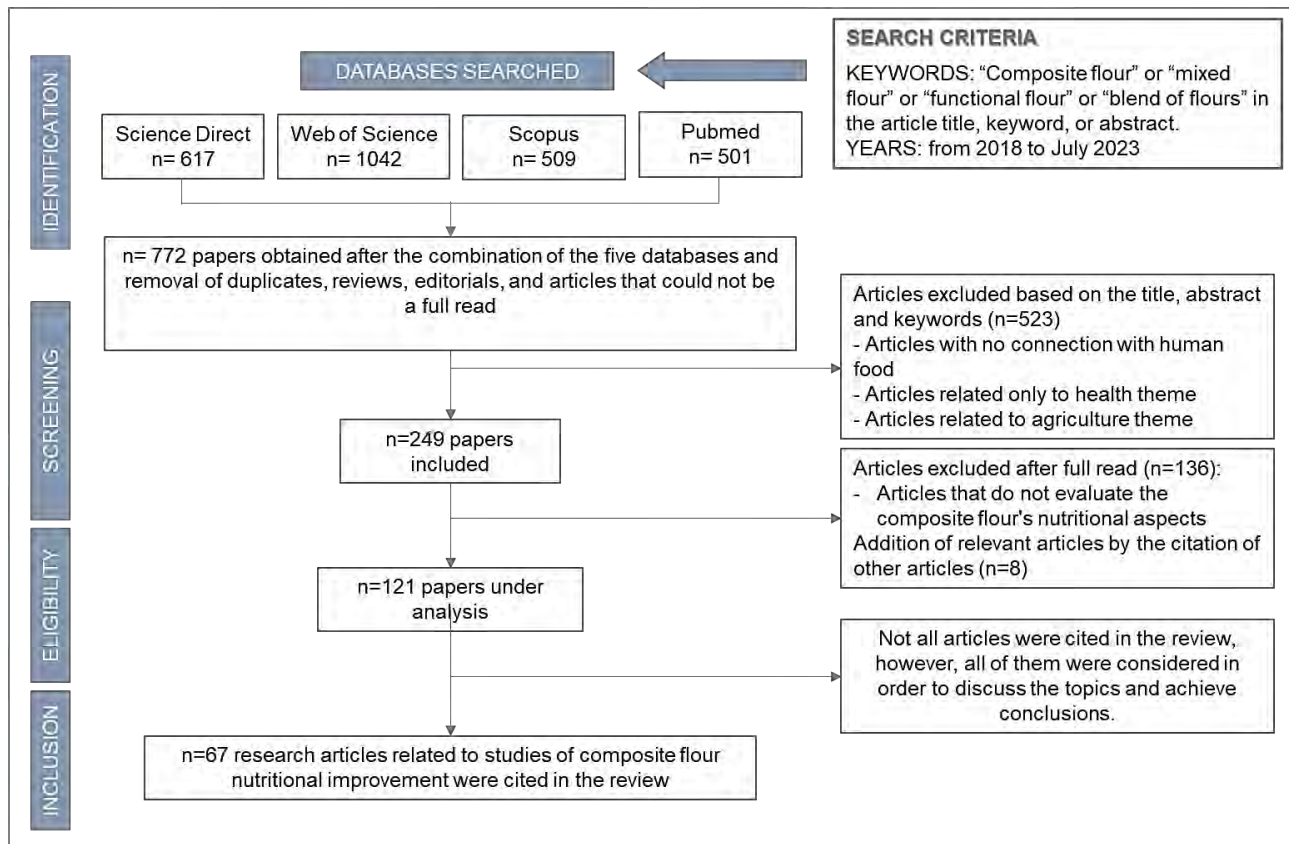
Consequently, in recent years, there has been an improvement in the use of wheat flour blends since the “new” raw materials used as flour have shown higher nutritional aspects, which can be related to products with health benefits. Blending or replacing one or more flours or a flour basis with legumes, roots, nuts, tubers, cereals, berry flours, and others, is categorized as composite flour (CF) (Seibel, 2006). Firstly, this terminology was only used for a wheat flour blend with another product, with no scientific definition, however, other names also found are ‘mixed flour’, ‘functional flour’, and ‘flour blend’, sometimes also incorrectly categorized as ‘enriched flour’ or ‘fortified flour’, and so forth, despite several researchers using other terminologies (Seibel, 2006).

Therefore, the objective of the present review was to systematically research all databases to investigate the studies that have evaluated the effect of adding different raw materials as a “new flour source” to produce CF and evaluate its effects on flour and products quality. Following the aforementioned, special attention was given to the nutritional properties of CF and products developed with CF and their particular nutritional benefits. To the best of our knowledge, no systematic review has been carried out in this area, but several traditional reviews have been conducted that generally address CF for baked products and food products in general, and the functional properties of CF. Therefore, in addition to the general objective previously described, the final goal of this review was to comment on the possibility of additional perspectives from an analytical point of view, which needs to be verified in order to better use this CF as a real source of nutritional ingredients in food formulations, in order to represent a strategy for food security and nutrition health.

## **2. REVIEW METHOD**

The review included peer-reviewed English scientific journals published between January 2018 and July 2023. The databases used were Scopus, ScienceDirect, SciELO, Web of Science, and PubMed. The search criteria used were “composite flour” or “mixed flour” or “functional flour” or “blend of flour” in the article title, keyword, or abstract (Figure 2). Using these criteria, the initial search found 2707 articles in all databases (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). To verify the relevance of the founded articles, a selection based on two guides was used to conduct a systematic review were used (de Almeida Biolchini et al., 2007; Okoli et al., 2019). Two filters were defined: 1<sup>st</sup> reading of the title, abstract, and keywords; 2<sup>nd</sup> reading of

the full text. An interactive cross-search process is performed in line with the second filter. Relevant articles that were not found in the search were identified and tracked using the authors' citations.



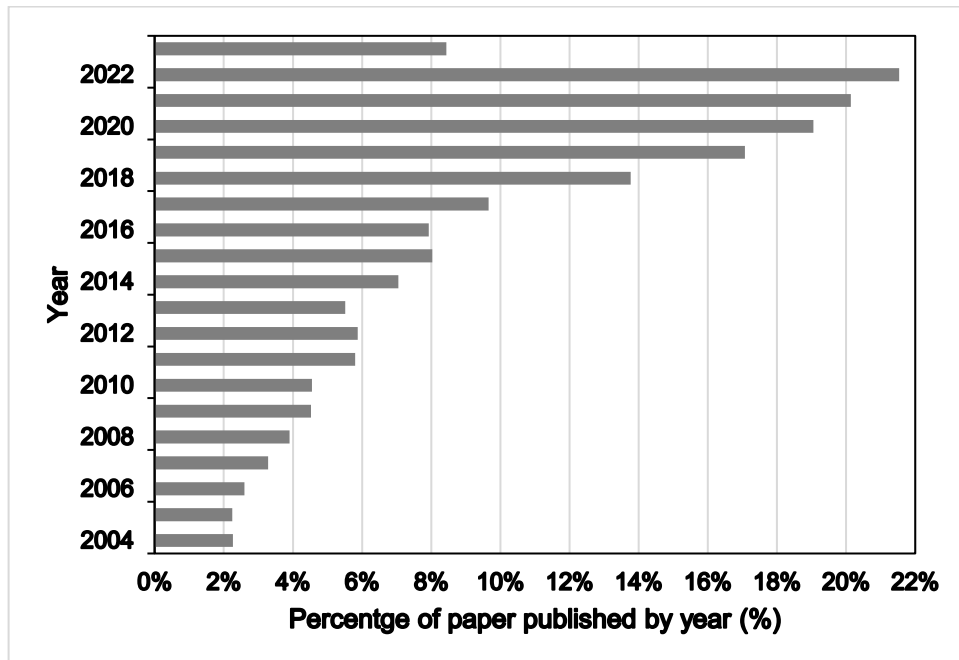
**Figure 2.** Flowchart of the step's parameters used to select the paper used in this review.

Source: Self elaboration

Only articles that studied the nutritional improvement of composite flours were selected for review. The selected articles were cataloged and stored in Mendeley, a managing bibliographic reference software. After applying the filters, 121 articles were considered for this study; more details are shown in Figure 2. Considering the high number of articles found, not all were cited in this review; however, all were considered to discuss the topics and reach conclusions.

### 3. RESEARCH TRENDS IN COMPOSITE FLOURS

The importance of CF studies could be justified also considering the significant increase number of over the last five years (2018-2023) (Figure 3), especially in the “Food Science and Technology” area.



**Figure 3.** Publications related to “composite flour” number of publications during the last 20 years.

Source: adapted from Web of Knowledge

The analysis of scientific productions can encourage improvements in the implementation of this product by the food industries and favor the creation of public politics and programs to replace imported cereals with locally produced cereals in different countries.

#### 3.1. Raw material used to elaborate composite flour



Currently, CF production includes a wide variety of products.

**Erro! Fonte de referência não encontrada.** shows the classes of raw materials most used for the production of the different composite flours. In general, a higher number of CF studies have been reported using leguminous (n=38), followed by cereals (n=26), fruits (n=18), roots and tubercles (n=13), and seeds (n= 12).

**Table 1.** Most common type products insertions into composite flours, and the most usual results

Material inserted and number of articles	Protein increase	Fiber increase	Mineral increase*	Antioxidant activity and phenoli compounds	Reference
Roots and tubercles (n 13)		sweet potato		sweet potato	(Meenakumari; Ravichandran; Vimalarani, 2023)
		cassava	cassava		(Udomkun et al., 2019)
	yam	orange-fleshed sweet potato			(Chikpah et al., 2020; Kolawole; Akinwande; Ade-Omowaye, 2020) (Sun et al., 2019)
Seeds (n 12)	moringa seed	moringa seed			(Bolarinwa; Aruna; Raji, 2019; Mohammed Nour Et Al., 2018)
		prickly pears seed		prickly pears seed	(Ali et al., 2020)
	tomato seed	tomato seed			(Adekoyeni; Adegoke; Ayano, 2018)
Cereals (n 26)	flaxseed	flaxseed			(Kaur et al., 2019)
				cañihua	(Paucar-Menacho et al., 2022)
	rice	rice	rice	kiwicha	(Paucar-Menacho et al., 2022)
Fruits (n 18)	goji berry	goji berry		goji berry	(Bora; Ragae; Abdel-Aal, 2019)
		tomato		camu-camu	(Das Chagas et al., 2021)
		banana flour	banana flour	tomato	(Bhat et al., 2019)
Leguminous (n 38)	chickpea		chickpea		(Udomkun et al., 2019)
	soy cake	soy cake	soy cake		(Guardado-Félix et al., 2020)
		carrot			(Olorunfemi; Awolu; Enujiugha, 2021)
	groundnut				(Adebanjo et al., 2020)
		Banana peel		Banana peel	(Awolu; Magoh; Ojewumi, 2020; Dauda et al., 2018)
					(Mahloko et al., 2019)

<b>Pomace and kernel</b>  (n 9)		Lemon pomace		(Awolu; Magoh; Ojewumi, 2020)
	mango kernel	mango kernel seed	mango kernel seed	(Olorunfemi; Awolu; Enujiugha, 2021)
	orange vesicle	orange vesicle	orange vesicle	(Adegunwa et al., 2019)
<b>Others</b>  (n 32)	mushroom	mushroom		(Bamidele; Fasogbon, 2020)
		Prickly pear peel	Prickly pear peel	(Mahloko et al., 2019)
	skimmed milk powder cricket powder	cricket powder		(Tumwine et al., 2019a, 2019b)  (Osimani et al. 2018)

\*More than half of the analyzed minerals increased.

In relation to leguminous, the use of chickpeas in wheat basis CF (15%) (Guardado-Félix et al., 2020) or in a rice basis flour (20%) (Hamdani et al., 2020) is highlighted. Different examples could be cited, as well as groundnut (30%) (Dauda et al., 2018), mesquite flour (15%) (Gonzales-Barron et al., 2020), pigeon pea (75%) (Gbenga-Fabusiwa et al., 2018, 2019), oat-bean flour (27.6 - 24.8%) (Pérez-Ramírez et al., 2018), soybean flour (5 - 25%), (Adeyeye et al., 2019) and lentil (24%) (Carcea et al., 2019), all of these in wheat basis flour, and also bean (40%) in a rice basis flour (Arribas et al., 2019), soybean (20%) in a maize basis, (Igbua et al., 2020) and fenugreek (16%) in a tef basis flour (Leykun et al., 2020).

The use of frutis and leguminous represents a clear tendency on CF development. Besides their use, by-product from those materials has been widely explored in the last years. For example, the use of goji berry by-product (40%) (Bora et al., 2019), lemon pomace (5-19%), (Awolu et al., 2020) banana flour (4%-15%) (Mahloko et al., 2019; Udomkun et al., 2019), green-banana flour (different levels between 10 and 20%) (Alcantara et al., 2020), orange flour from orange juice production (20%) (Castro

et al., 2020), mutamba flour (9%) (Assis et al., 2019), tomato powder (4%) (Bhat et al., 2019), carob fruit flour (10%) (Arribas et al., 2019), camu-camu flour (20%) (das Chagas et al., 2021), among others, has been largely explored. The use of roots and tubers was also clearly observed. Meenakumari, Ravichandran, and Vimalarani (2023) produced CF using sweet potato (10-20%), Sun et al. (2019) used Chinese yam powder (20%) and Monthe et al. (2019) used different concentrations of fermented cassava (50-85%) and sweet potato (10-30%) to develop their products. Moreover, there are also studies about the use of carrot flour (5-20%) (Adebanjo et al., 2020), carrot powder (5-15%) (Tumwine et al., 2019a, 2019b), beetroot powder (10%), (Rathod et al., 2020) and cassava flour (10-25%) (Igbua et al., 2020) to substitute basis flours. Furthermore, it could be observed that cassava or yam flour is often used as the basis and evaluated in the development of CF, for instance, the use of 60% of yam-starch (Adams et al., 2019) or cassava-starch (50%) (Onyango et al., 2020) to produce CF.

Another example of by-products used to produce CF is the use of seeds. As examples of the incorporation of seeds in wheat flour, such as moringa seeds (20%) (Bolarinwa et al., 2019), prickly pear seeds (10%) (Ali et al., 2020), tomato seeds (20%) (Adekoyeni et al., 2018), and flaxseed (30%) (Kaur et al., 2019), as well as the use of moringa seeds (15%) (Mohammed Nour et al., 2018) and pumpkin seeds (5%) (Tumwine et al., 2019a) in millet basis flour, have been reported.

In addition to these raw materials, different specific uses were also observed. Bamidele and Fasogbon (2020) produced a CF using rice flour as the basis and oyster mushroom flour (15%). Awobusuyi et al. (2020) used termite-sorghum flour (45:15) a substitute wheat flour (40%) in cookie production. Osimani et al. (2018) evaluated the

use of cricket powder (30%) and González, Garzón, and Rosell (2019) the use of different types of insects (5%) (*Hermetia illucens*, *Acheta domestica*, and *Tenebrio molitor*) in the production of the wheat-based bread. There are also studies on the use of cowpea leaves (5%) (Tumwine et al., 2019b), moringa leaves (5-50%) (Getachew & Admassu, 2020), and skimmed milk powder (35%) (Tumwine et al., 2019a) to produce CF.

Therefore, it can be observed that the trends in the development of CF, in general, stimulate the consumption of fruits, leguminous, as well as cereals and tubers. As mentioned previously, these types of products constitute the bottom of the food pyramid. Consequently, CF development has the potential to improve vegetable and fruit intake, which in turn could help achieve a better lifestyle diet.

Furthermore, according to “World Food and Agriculture”, the Statistical Yearbook from FAO, vegetables and fruits are the second group of products that report more losses in the world, with  $\pm 23\%$  of loss (FAO, 2020a). Therefore, the use of fruits and vegetables to produce CF can help decrease the loss of these products.

### **3.2. Products elaborated with composite flours**

CF has been used to produce especially bread, cookies, biscuits, muffins, cakes, pasta, and noodles, among other small uses ( Table 2). In general, the insertion of CF into bread significantly affects different bread properties ( Table 2). Alcântara et al. (2020) demonstrated that bread properties were more significantly affected by flour type than by flour concentration when evaluating corn, green banana, and rice CF. The same behavior was observed by Hidayat et al. (2019) using different combinations of flours with the same concentrations. In general, the reduction in gluten

concentration, due to wheat flour replacement, brings to a fragility in the gluten network, which in turn leads to a lower capacity to hold the gas generated during fermentation, all of which results in a weaker structure, and bread with lower volume, denser, and harder. In addition, the heat and mass transfer mechanisms are also significantly affected when wheat flour is substituted with CF (Alcântara et al., 2020), which in turn also explains the differences observed in the final structure of the composite breads.

Although the use of CF in bread presents critical aspects, as previously reported, in general the sensorial evaluation of CF breads tends to show high levels of overall acceptance (Alcântara et al., 2020; Assis et al., 2019; Guardado-Félix et al., 2020). Moreover, it could be emphasized that consumers who want to have more nutritional food are less sensitive or do not compare these products with wheat-based products. Regarding the production of cookies, the use of CF did not significantly affect the physical characteristics of the products ( Table 2). No differences were observed in the diameter of cookies using 10% roasted flaxseed flour (Kaur et al., 2019), or 10% of orange juice by-product (Castro et al., 2020) in wheat-based cookies. in the spread factor parameter, there were also no significant differences observed when 20% of orange juice by-product was applied.(Castro et al., 2020) The same behavior was observed for cookies produced with 20% of camu-camu coproduct powder (das Chagas et al., 2021), and 30% raw or roasted flaxseed flour (Kaur et al., 2019) on a wheat basis.

**Table 2.** Examples and resume of results of composite flour incorporation in food products.

Product	Composite flour	Increase of protein and fiber content (g / 100g CF)	Properties		Consumers overall acceptance	Authors
			Main alterations	Similar parameters		
Bread	Wheat flour, mutamba flour (5%)	*	Bread color, granulometry of flour, bread volume.		8,4 of 9.0	(Assis et al., 2019)
Bread	Wheat flour, roasted prickly pear seed flour (96:4)	+0.05, +0.57	Bread volume, specific volume, water absorption.	Loaf weight.	7.8 of 9.0	(Ali et al., 2020)
Bread	Wheat flour, corn flour (20-40%), green banana flour (10-20%)	*	Water loss, specific volume, cutting force, elasticity, rigidity, crust, and crumb color.	Water content (crumb and crust), hardness, cohesiveness.	Between 5.0 and 7.0 of 9.0	(Alcântara et al., 2020)
Bread	Wheat flour, mesquite flour (85:15)	+0.40; +2.21	Crumb water activity, crumb resilience.	Crumb hardness, yeasts counts.	*	(Gonzales-Barron et al., 2020)
Bread	Wheat flour and whole, germinated, or selenium-germinated (SG) chickpea flours (85:15)	+1.25 (SG); *	Apparent density, crumb, and crust color, volume.	Water absorption, weight, texture.	± 7.0 of 9.0	(Guardado-Félix et al., 2020)
Cake	Wheat flour, mango kernel flour (80:20)	-0.23; +0.07	Water absorption capacity, color, and swelling index.	Bulk density and physical attributes (height, weight, specific volume)	7.7 of 9.0	(Das et al., 2019)
Cake	Brown rice flour, bombay locust powder (80:20)	+19.64; +1.98	Dimensions (volume and density), pasting and texture properties (hardness, cohesiveness, and gumminess), and color.	Physical proprieties (volume and uniformity index), water activity, and viscoelastic property.	±7.1 of 9.0	(Indriani et al., 2020)
Muffin	Rubber seed, camamatssava flour (50:50)	*	Crust and crumb colors, firmness.	Water activity, springiness.	5.1 of 7.0	(Hidayah et al., 2019)
Muffin	Rubber seed, pumpkin flour (50:50)	*	Water activity, crust and crumb colors, springiness.	Firmness.	3.9 of 7.0	

Muffin	Cassava, pumpkin flour (50:50)	*	Water activity, crust and crumb colors, firmness.	Springiness.	4.1 of 7.0	
Cookie	Wheat flour, orange Juice By-Product (90:10)	*	Microstructure.	Diameter, height, spread factor, specific volume, hardness, color.	7.7 of 9.0	(Castro et al., 2020)
Cookie	Wheat flour, camu-camu flour (80:20)	*	Hardness.	Specific volume, spreading factor.	*	(das Chagas et al., 2021)
Cookie	Wheat flour, roasted flaxseed (70:30)	+5.05; +2.10	Diameter, thickness, color, and texture parameters.	Weight and spread ratio.	±7.0 of 9.0	(Kaur et al., 2019)
Biscuits	Wheat flour, banana peel flour (96:4)	* ; +0.17	Color, diameter, height, spread ratio, hardness.		*	(Mahloko et al., 2019)
Biscuits	Wheat flour, princkly pear peel flour (96:4)	* ; +0.67	Color, diameter, height, spread ratio, hardness.		*	
Biscuit	Wheat flour, pigeon Pea flour (25:75)	+1.88; +0.85	*	*	5.4 of 7.0	(Gbenga-Fabusiwa et al., 2019)
Noodles	Wheat flour, chickpea (70:30) and kansui (3%)	*	All pasting and textural properties.		*	(Jia et al., 2020)
Noodles	Wheat and fenugreek flour (93:7)	*	Peak, trough and final viscosity, cooking properties, hardness.	Breakdown viscosity.	± 10 of 15	(Dhull & Sandhu, 2018)

\* Analysis non-performed;

Again, no significant differences (depending on the substitution level) were observed in the hardness(Castro et al., 2020; das Chagas et al., 2021; Kaur et al., 2019), specific volume(Castro et al., 2020; das Chagas et al., 2021), height, thickness(Castro et al., 2020; Kaur et al., 2019), and weight of the cookies produced with CF(Kaur et al., 2019).

Noodles were also used to evaluate the applicability of CF, and the results varied according to the type of product used to develop CF ( Table 2).

Therefore, it could be stated that the use of CF to formulate bakery or pasta products can achieve good dough properties and physical parameters, of course depending on the type and level of substitution of the basis flour.

#### **4. COMPOSITION ASPECTS**

Partial substitution of the basis flour by CF could yield advantageous results, such as an increase in protein, fiber, and mineral contents. In addition to the elements previously highlighted, it is well known that when cereal and legume grains are combined, protein efficiency is improved owing to the complementary essential amino acid profile, reaffirming the advantages of the development and use of CF (Young & Pellett, 1994).

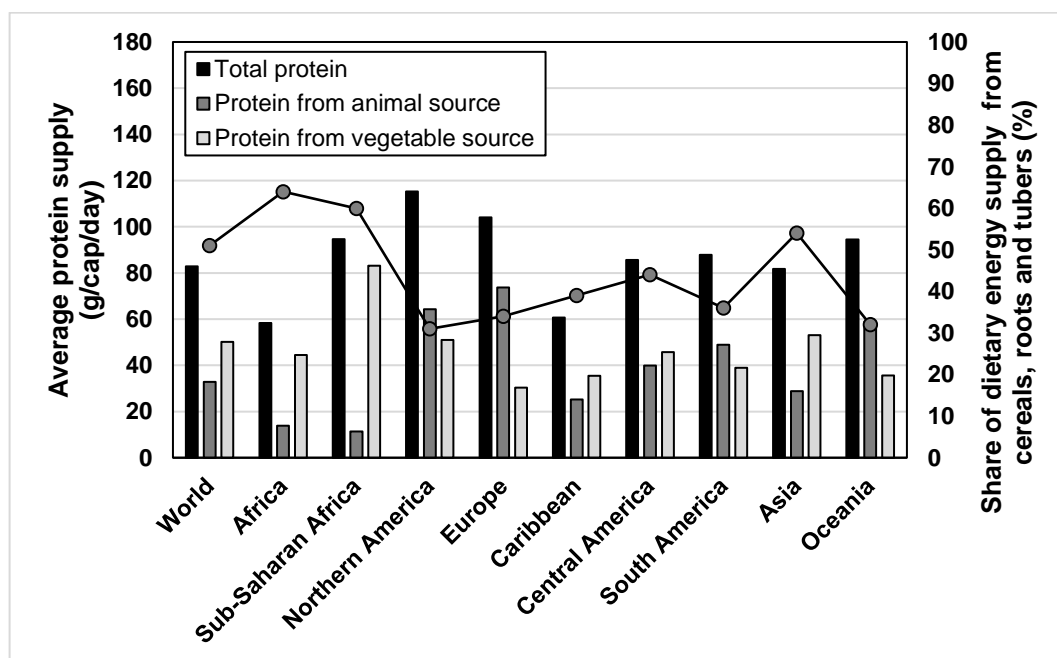
This substitution is advantageous because, according to the United Nations agenda of action called "end hunger, achieve food security and improve nutrition and promote sustainable agriculture," hunger and malnutrition are still a global issue, and on the rise, especially in children. Approximately 144 million children under 5 years of age are too small for their age due to chronic malnutrition (United Nations, 2020), thus CF



could help to ensure daily nutritional intake by using cheaper regional raw materials to substitute imported wheat flour, for instance.

However, the society is aging, and protein-energy malnutrition in elderly people is an issue that needs to be solved. This protein-energy deficiency is much higher in older adults in hospitals and geriatric care facilities than in non-institutionalized ones. Several risk factors may be associated with institutionalized individuals, such as constipation, general health decline (including physical function), loss of independent eating capacity, and poor appetite (Gil-Montoya et al., 2013; Matsuda, 2019; Moreira et al., 2016). Many of these risk factors can be reduced with an appropriate diet, with not only high nutritional quality but also good sensorial attributes.

Furthermore, according to the FAO, the average world supply of protein estimated for a period of three years (2015-2017) was 79.9 g of protein/cap/day (Figure 4).



**Figure 4.** Average world supply protein, estimated for the period between 2018 and 2020, and the contributions of animal and vegetable sources in the function of the different regions of the world

Source: data adapted from FAO

Protein supply can be obtained from animal and vegetable sources, and considering FAO estimations, vegetables provide 61% of protein supply, while animal products contribute with ~ 39% of the per capita availability of food protein. However, when observing the respective values from different regions of the world, a significant difference was observed between the contribution of animal and vegetable proteins in daily intake. For example, in North America and Europe, the total protein supply is 39 and 27% higher than the average world protein supply, and animal products supply ~ 63 and 56%, respectively (Figure 4). On the other hand, in Africa, the average protein intake is 25% lower, in relation the total world intake, and currently, vegetable products are responsible for 78% of protein supply (Figure 4). In addition to this aspects, Figure 4 also shows that cereals, roots, and tubers account for more than 50% of the dietary energy in the world, in Africa and Asia regions. Therefore, the differences in protein consumption were verified according to the different regions, which in turn underscores the effects of these regions' economic development on their diets.

#### **4.1. Fiber, protein, and mineral increase**

**Erro! Fonte de referência não encontrada.** shows the most observed nutritional aspects related to the production of the different composite flours. When seeds were incorporated into wheat flour, such as moringa seed (20%) (Bolarinwa et al., 2019) and flaxseed (30%) (Kaur et al., 2019), the CF developed used to present a higher

fiber content (+0.54/ 100 g and +2.46 g/ 100g of CF, respectively), as well as a higher protein content (+4.91 and+ 5.42 g/ 100g of CF, respectively).

The inclusion of fruits in the CF also improved the nutritional content of CF. The incorporation of 40% of goji berry by-product in wheat flour, used for the production of muffins and cookies, promoted an increase in protein content of the products developed (+0.90g/ 100g and +1.00g/ 100g of CF, respectively), as well as in dietary fiber (+9.90g/ 100g and +7.70g/ 100g of CF, respectively,) and phenolic compounds (+297.9  $\mu$ g/ 100g and 321.0  $\mu$ g/ 100g of CF, respectively) (Table 1) (Bora et al., 2019). Udomkun et al. (2019) substituted the wheat flour with 25% of banana flour in a CF produced with maize (30%), wheat (25%), sorghum (15%), soybean (20%), and sesame (10%) flours, achieving an increase of crude fiber (+1.1g/ 100g of CF) and minerals (potassium +426.30mg/ 100g, calcium +140.60mg/ 100g, and phosphorus +55.2mg/ 100g of CF), in relation to wheat flour.

In relation to leguminous, the insertion of 15% of selenium-germinated chickpea flour in the substitution of wheat flour achieved an increase of protein (+1.25g/ 100g of CF), and mineral (selenium: +0.5 $\mu$ g/g of CF) (Guardado-Félix et al., 2020). Olorunfemi, Awolu, and Enujiugha (2021) reported an increase of 8.12% to 24.33% in protein content of acha-mango kernel CF (70:30) when substituting the mango kernel flour (30%) for soy cake flour.

Therefore, it could be verified that the increase in fiber content (mostly crude fiber) is the most common result achieved by CF production (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Fiber increase brings benefits such as beneficial alterations in the intestinal microbiota, greater formation of short-chain fatty acids that serve to preserve different tissues, reduce inflammation, and regulate metabolism, appetite, and energy

balance, thus improving the health of the host (Korc et al., 2018). The fiber increase in the CF varies according to the raw material included: an increase of +0.4g of crude fiber/100g of CF was achieved by substituting 25% of wheat flour with cassava flour (Udomkun et al., 2019); while the use of orange vesicle flour to produce a CF with unripe plantain flour increased the crude fiber content from 0.56% (100% unripe plantain) to 7.19% (50:50 unripe plantain:orange vesicle), an increase higher than 6g of crude fiber per 100g (Adegunwa et al., 2019).

As expected, the products developed using CF also showed an increase in fiber content. For example, breads made with CF wheat-based showed increased values of +0,54g of crude fiber per 100g of CF (Bolarinwa et al., 2019; Mohammed Nour et al., 2018) and + 2.33 g of dietary fiber per 100g of CF (Ali et al., 2020), with the substitution of 20% of moringa seed and 10% of roasted prickly pear seed flour, respectively.

The increase in protein content was the second-most observed effect (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Protein intake plays a very important role in the optimal growth of children, in and muscle maintenance, and has different functions, including the musculoskeletal system, which helps preserve muscle strength in the elderly (Rizzoli et al., 2018). As shown by the fiber, the same behavior of variation is seen in the protein content according to the group of products used to develop CF.

For instance, in CF using wheat flour as a basis, there is substantial variation in protein content. Sun et al. (2019) achieved an increase in protein content of 2.02 g of protein per 100g of CF with the substitution of 40% of yam powder, while Mohammed Nour et al. (2018) reached an increase of 11.32g of protein/ 100g of CF with the substitution of millet flour by fermented moringa seed flour (15%). It is also important to highlight

that an increase in protein content does not necessarily reflect an increase in protein digestion of the product.

Finally, it was verified that the increase in minerals and antioxidant activity were also common nutritional results achieved by the development of CF (Table 1). Minerals play a key role in various functions, from building strong bones to sending nerve impulses. Different minerals also regulate the standard heartbeat and produce various hormones in the body (Gharibzahedi & Jafari, 2017). They are present in the teeth and bone structure and play a vital role as a structural component of enzymes (Gharibzahedi & Jafari, 2017). For example, using cassava (10%) and soybean (20%) to replace maize flour, Igbua et al. (2020) observed an increase in mineral content (calcium +31.33 mg/ 100 g of CF, magnesium +13.47 mg/ 100 g of CF, potassium +128.42 mg/ 100 g of CF, phosphorus +19.52 mg/ 100 g of CF, iron +0.67 mg/ 100 g of CF, and zinc +3.33 mg/ 100 g of CF) when compared only to the maize flour. Similarly, Udomkun et al. (2019) also achieved an increase in minerals when substitute the wheat flour by cassava, rice, or banana flour in a CF made of maize (30%), wheat flour (25%), sorghum (15%), soybean (20%), and sesame flour (10%). The use of cassava flour increases the potassium (+67.83g/ 100 g of CF), phosphorus (+58.70g/ 100 g of CF), calcium (+805.80g/ 100 g of CF) and iron (+1.4 mg/ 100 g of CF), the rice flour increases the potassium (+599.90g/ 100 g of CF), phosphorus (+64.30g/ 100 g of CF), and zinc (+3.1 mg/100 g of CF) and the banana flour increases the potassium (+426.30g/ 100 g of CF), phosphorus (+55.2g/ 100 g of CF), calcium (+140.60g/ 100 g of CF), and magnesium (+19.7g/ 100 g of CF)(Udomkun et al., 2019).

Antioxidants can act as scavengers of free radical and non-radical oxidizing agents, inhibitors of oxidant generation, transition metal chelating agents, and light absorbers in the ultraviolet region (Brewer, 2011; GRANATO et al., 2017), and is well known that phenolic compounds are the main antioxidant agent (HALLIWELL, 1999; MCLEAN et al., 2005; MEISTER, 1992). As described in **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, the use of roots, tubercles, cereals, and legumes can improve the antioxidant activity of CF, so as the phenolic compounds concentration.

Ali et al. (2020) observed a higher antioxidant activity in a CF-bread developed using roasted prickly pear seeds (10%). In a similar manner, Bhat et al. (2019) evaluated the use of tomato powder (4 g/100 g flour) or saffron extract (100 mg/100 g flour) to produce CF, and found increased antioxidant activity. According to the authors, the wheat flour showed a DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical scavenging capacity of 10.3% (Bhat et al., 2019) and the wheat-bread 16,97% (Ali et al., 2020), while the CF-bread using 10% of roasted prickly pear seeds presented 26,67% (Ali et al., 2020) and those produced with tomato powder (4h/100g) and saffron extract (100mg/100g) presented 22.40% and 20.90%, respectively (Bhat et al., 2019).

Other examples can be found in Das Chagas et al. (2021) and Paucar-Menacho et al, (2022) studies, respectively. Das Chagas et al. (2021) used camu-camu coproduct powders to substitute 20% of wheat flour in cookie production and reported a significant increase in phenolic content of the produced cookies (+3.7mg GAE/g) and in the antioxidant potential (+1.45  $\mu\text{mol TEq/g}$ , +15.99  $\mu\text{mol TEq/g}$  measured by FRAP (Ferric ion Reducing Antioxidant Power) and ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) methods, respectively). In addition, Paucar-Menacho et al. (2022) used the pseudo-cereal grains cañihua (15%) and kiwicha (5%) to substitute wheat flour in

bread and achieve an increase in the total soluble phenolic compounds (+1,91 mg GAE/ g) and in the antioxidant activity (+47,85  $\mu\text{mol TE/g}$  accordingly to the ORAC analyze).

Of course, despite an increase in a desired compound, it is sometimes associated with a decrease in other components. To illustrate this, the insertion of tomato powder (4%) in a wheat-based CF resulted in a reduction in the crude protein content of snacks, while the dietary fiber content increased (Igbua et al., 2020), and the insertion of orange Fleshed Sweet Potato (10-90%) in substitution of wheat flour decreased crude protein (-1 until -6g/100g); however, the crude fiber content increased (+0,2 to 2g/100g) (Chikpah et al., 2020).

Accordingly, considering the results presented in this section, as well as, with regard to the “Products elaborated with composite flour” and “Composition Aspects” topics, it can be stated that the CF not only brings better nutritional properties when compared with customary flours but also a good application in food products, with the possibility of achieving the desired nutritional composition. Besides these gains, the nutritional improvement provided by CF can serve as an incentive for food companies to develop “healthier” products using CF instead of common flour in their product formulations. This could result in a marketing advantage, whereby “healthier products” are seen as better options by consumers, thus attaining competitive advantages over other producers (Banyté et al., 2010; Signor et al., 2017).

However, it is important to note that although the composition aspects of CF have shown significant contribution, especially related to protein, fiber content, and phenolic compounds, in general, those studies did not evaluate the digestion aspects related to CF or their products.

For example, peach palm flour, an Amazonian fruit, has been widely studied and incorporated into different bakery products such as bread (Azizi et al., 2012). However, this flour exhibited reduced protein digestibility when incorporated into yogurt and cytotoxicity in normal cells (Santos et al., 2023).

#### **4.2. Protein Digestibility**

Although some studies have evaluated protein digestibility (PD) when CF was proposed, the results remain scarce and variable. Wanjala (2020) reported an increase in protein content (from 6.47% to 10.70%) when replacing 30% of the rice flour by 10% of sorghum and 20% bamboo shoots. However, the PD decreased from 85.61% (rice flour) to 65.65% (CF). In addition, Mohammed-Nour et al. (2018) reached increases both in protein content and digestibility (from 12.29 to 22.02% and from 45.75 to 66.50%, respectively) in a millet-CF supplemented with 15% of moringa seed flour.

The effects of different processes on CF production and its relationship with PD have also been evaluated more recently. The use of different processes for CF development, such as extrusion (Guldiken et al., 2020; Saadat et al., 2020), fermentation (Mohammed Nour et al., 2018), germination (Guardado-Félix et al., 2020; Tumwine et al., 2019b), and roasting/cooking (Mohammed Nour et al., 2018; Tumwine et al., 2019b) has been explored. These processes are usually used in ready-made CF or in one of the raw materials used before CF development.

A small decrease in *in vitro* PD (from 61.8 to 58.9%) was observed when chickpea-barley CF (60:40) was extruded (Guldiken et al., 2020). On another hand, Saadat (2020) reported *in vitro* PD (from 64.04 to 74.08%) increase when incorporating



extruded mash, mung, and soybean on CF (substitution of chickpea between 30 to 100%) in a multilegume bar production.

The effect of the germination process on PD has also been evaluated, but no clear behavior has been observed. Guardado-Félix (2020) observed *in vitro* PD decrease (from 88.56 to 86.02%) in a bread made of 85% wheat flour and 15% germinated chickpea flour (germinated for 4 days) compared to a control bread with raw chickpea flour. Tumwine (2019b) reported PD increase (from 22.3 to 65.5%) in CF made with 65% of germinated millet flour (germinated for 48h), 20% skimmed milk powder, 5% carrot powder, 5% cowpea powder, and 5% pumpkin seed powder compared to the control with raw millet flour.

Fermentation and roasting/cooking processes generally increase *in vitro* PD. The fermentation for 16h of a millet:moringa seed CF (85:15) increased the *in vitro* PD from 66.50 to 79.42%, and the posterior cooking process, during 10 min, also increased PD from 79.42 to 92.31% (Mohammed Nour et al., 2018). The roasting process at 140°C of millet flour used for in a CF made of 65% roasted millet flour, 20% skimmed milk powder, 5% carrot powder, 5% cowpea powder, and 5% pumpkin seed powder increased the *in vitro* PD from 22.3 to 60.1% (Tumwine et al., 2019b).

Considering the previously mentioned it is important to emphasize that an increase in protein content does not mean an increase in protein absorption, and the same method could increase or not the protein digestibility depending on the raw material and method conditions used. Therefore, to confirm that CF production increases protein intake (compared to ordinary flour), it is necessary to perform support analyses.

## 5. ELABORATION METHODS

To elaborate a CF, the mixture of basis flour with other raw materials is necessary. The majority of CF studies related to production or product development do not specify the method used for CF blending, leading to understanding that the raw materials used are mixed manually (Chikpah et al., 2020; Guardado-Félix et al., 2020; Meenakumari et al., 2023; Olorunfemi et al., 2021; Paucar-Menacho et al., 2022) or still use electric mixers to blend the raw materials (Adekoyeni; Et A., 2018; Bora; Et Al., 2019; das Chagas et al., 2021; Udomkun et al., 2019). In both methods, no structural or chemical interactions were observed between the raw materials.

However, the use of extrusion process in CF production to homogenize raw materials has frequently occurred in recent years. Some authors have used the extrusion process to elaborate CF and develop new products, such as noodles, analog rice, and breakfast flakes (Alves Cayres et al., 2021; Sumardiono et al., 2018, 2021; Zhang et al., 2019). In addition, there are studies that, after extrusion, grind pellets to obtain a new compound flour (Duguma et al., 2021; Guldiken et al., 2020; Meng et al., 2019; Saadat et al., 2020). Only studies that do not add more raw materials in the extrusion, besides CF, are discussed in this section.

The improvement in CF homogenization using the extrusion process was evaluated by Meng et al. (2019). Scanning electron microscopy analysis revealed that starch granules were visible and evenly dispersed in the control sample (50:50 mung-wheat composite flour), while the extrudate samples showed a cross-linking between starches in the microstructure of extruded mung-wheat composite dough, a network structure was formed, and no scattered starch granules were observed (Meng et al., 2019).

The extrusion process, even when using the same products, could result in products with different properties, colors, textures, and flavors due to variations in the extrusion parameters, such as severe conditions (high temperature, low moisture, and screw speed) under the extrudates, usually improving functional properties (such as water absorption and solubility index, swelling power, crispness, etc.) (Altaf et al., 2021; Awolu; Magoh; Ojewumi, 2020; Guldiken et al., 2020), however this could lead to darker color pellets and reduce the nutritive value of the product (Adebanjo et al., 2020; Guldiken et al., 2020, Dalbhagat et al., 2019).

Despite the extrusion processes being conducted in single and twin-screw, and the parameters used varied between the studies, some similar results between the CF extrusion studies were achieved. A higher water absorption index (Altaf et al., 2021; Awolu et al., 2020; Duguma et al., 2021; Guldiken et al., 2020), a higher water solubility index (Altaf et al., 2021; Awolu et al., 2020), and an increase in the bulk density can be achieved by the extrusion process (Altaf et al., 2021; Duguma et al., 2021; Guldiken et al., 2020). However, the bulk density exhibited different behaviors depending on the moisture content of the sample, that is, Altaf et al. (2021) extruded rice and chickpea CF, and the increase in bulk density was linear with the moisture increase, whereas for Guldiken et al. (2020), that extruded chickpea and barley CF, the bulk density increased as the moisture decreased.

The protein content also presented different results from those of the extrusion process. Adebanjo et al. (2020) extruded pearl millet and carrot (80:20) CF and the crude protein content was reduced by 4.05%, while Guldiken (2020), when extruded a chickpea-barley (60:40) CF observed an increase of 1.2% in protein content.

Despite the increase in protein content reached by Guldiken (2020) with the extrusion, the process generated a decrease in protein digestibility at 160°C barrel temperature and 18% moisture, where the *in vitro* protein digestibility decreased from 61.8 to 58.9% and *in vitro* protein digestibility corrected amino acid score was reduced from 0.55 to 0.47. Nevertheless, in another run of the tests, the extrudate chickpea-barley CF *in vitro* protein digestibility varied between 74.15% and 83.79%, being the fewer achieved with 20% moisture and 170°C in the barrel, and the highest with 18% moisture and 160°C in the barrel, indicating that the *in vitro* protein digestibility varied depending on the extrusion parameters.

Other results have been observed from the extrusion process in CF, such as the reduction of phytate and condensed tannin contents (Duguma et al., 2021), reduction in all viscosities relative (Guldiken et al., 2020), darker color (Altaf et al., 2021), and safer final products with low total viable counts (Awolu et al., 2020). Thus, studies on the extrusion process for producing CF are one methodology that tends to grow.

## **6. CONCLUSIONS**

Composite flour, in general, represents an excellent option for improving the nutritional aspects of wheat flour. In general, the development of composite flour results mainly in higher protein, fiber and phenolic compounds concentrations and products with interesting physical aspects and sensory acceptance. The consumption of composite flour can improve the nutritional condition of the population and help reduce malnutrition.

This explains the increase in research on this theme in recent years. However, to ensure that such nutritional improvements will be absorbed by human digestion, more studies related to CF and protein digestibility must be conducted. Besides these

aspects, the use of the extrusion process seems to represent a key strategy in the production of cheaper and nutritional CF with improved nutritional value and high protein digestion capacity, as well as the possibility of including industrial by-products.

**Acknowledgments:** The authors thank the São Paulo Research Foundation (FAPESP - 2013/12693-0; 2018/03324-5; 2021/12270-9). This study was financed in part by the “Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil” (CAPES)–Finance Code 001.

**Statements and Declarations:** The authors declare no conflicts of interest or personal relationships that influenced the work reported in this article.

## 7. REFERENCES

- Adams, Z. S., Wireko Manu, F. D., Agbenorhevi, J., & Oduro, I. (2019). Improved Yam-Baobab-Tamarind flour blends: Its potential use in extrusion cooking. *Scientific African*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00126>
- Adebanjo, L. A., Olatunde, G. O., Adegunwa, M. O., Dada, O. C., & Alamu, E. O. (2020). Extruded flakes from pearl millet (*Pennisetum glaucum*) - carrot (*Daucus carota*) blended flours- Production, nutritional and sensory attributes. *Cogent Food and Agriculture*, 6(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1733332>
- Adegunwa, M. O., Fafiolu, O. F., Adebowale, A. A., Bakare, H. A., & Alamu, E. O. (2019). Snack food from unripe plantain and orange vesicle composite flour: nutritional and sensory properties. *Journal of Culinary Science and Technology*, 17(6), 491–506. <https://doi.org/10.1080/15428052.2018.1491917>
- Adekoyeni, O. O., Adegoke, A. F., & Ayano, A. E. (2018). Nutritional, functional, sensory and microbial qualities of wheat-tomato seed flour bread. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*, 10(3), 47–56. [http://chimie-biologie.ubm.ro/carpathian\\_journal/index.html](http://chimie-biologie.ubm.ro/carpathian_journal/index.html)
- Adeyeye, S. A. O., Adebayo-Oyetoro, A. O., Fayemi, O. E., Tihamiyu, H. K., Oke, E. K., & Soretire, A. A. (2019). Effect of Co-Fermentation on Nutritional Composition, Anti-Nutritional Factors and Acceptability of Cookies from Fermented Sorghum (*Sorghum bicolor*) and Soybeans (*Glycine max*) Flour Blends. *Journal of Culinary Science and Technology*, 17(1), 59–74. <https://doi.org/10.1080/15428052.2017.1404536>
- Alcântara, R. G. de, Fukumasu, H., Raspantini, P. C. F., Raspantini, L. E. R., Steel, C. J., Oliveira, L. de C., Carvalho, R. A. de, & Vanin, F. M. (2020). Baking Effect on Resistant Starch Digestion from Composite Bread Produced with Partial Wheat Flour Substitution. *Journal of Food Quality*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/9245035>

- Alcantara, R. G., de Carvalho, R. A., & Vanin, F. M. (2020). Evaluation of wheat flour substitution type (corn, green banana and rice flour) and concentration on local dough properties during bread baking. *Food Chemistry*, 326, 8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126972>
- Ali, R. F. M., El-Anany, A. M., Mousa, H. M., & Hamad, E. M. (2020). Nutritional and sensory characteristics of bread enriched with roasted prickly pears seed flour. *Food & Function*, 1–22. <https://doi.org/10.1039/C9FO02532D.Food>
- Altaf, U., Hussain, S. Z., Qadri, T., Iftikhar, F., Naseer, B., & Rather, A. H. (2021). Investigation on mild extrusion cooking for development of snacks using rice and chickpea flour blends. *Journal of Food Science and Technology*, 58(3), 1143–1155. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04628-7>
- Alves Cayres, C., Luis Ramírez Ascheri, J., Antonieta Peixoto Gimenes Couto, M., & Lopes Almeida, E. (2021). Whole-grain sorghum, orange pomace, and whey blends as a novel gluten-free pregelatinized ingredient: Assessment of physicochemical and pasting properties (sorghum-based pregelatinized flour). *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(1). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15014>
- Arribas, C., Pereira, E., Barros, L., Alves, M. J., Calhelha, R. C., Guillamón, E., Pedrosa, M. M., & Ferreira, I. C. F. R. (2019). Healthy novel gluten-free formulations based on beans, carob fruit and rice: Extrusion effect on organic acids, tocopherols, phenolic compounds and bioactivity. *Food Chemistry*, 292(September 2018), 304–313. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.074>
- Assis, R. Q., Andrade, K. L., Gomes Batista, L. E., de Oliveira Rios, A., Dias, D. R., Ndiaye, E. A., & de Souza, É. C. (2019). Characterization of mutamba (*Guazuma ulmifolia* LAM.) fruit flour and development of bread. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 19, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101120>
- Awobusuyi, T. D., Siwela, M., & Pillay, K. (2020). Sorghum–Insect Composites for Healthier Cookies: Nutritional, Functional, and Technological Evaluation. *Foods*, 9(10), 1427. <https://doi.org/10.3390/foods9101427>
- Awolu, O. O., Magoh, A. O., & Ojewumi, M. E. (2020). Development and evaluation of extruded ready-to-eat snack from optimized rice, kersting's groundnut and lemon pomace composite flours. *Journal of Food Science and Technology*, 57(1), 86–95. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04033-9>
- Azizi, M. H., Andrade, J. S., & Hadian, Z. (2012). *Quality of wheat bread incorporated with different levels of peach palm flour (Bactris gasipaes Kunth) Functional Food View project preparation and Characterization of Liposomes Containing Eicosapentaenoic and Docosahexaenoic Acids View project*. <https://www.researchgate.net/publication/327103370>
- Bamidele, O. P., & Fasogbon, B. M. (2020). Nutritional and functional properties of maize-oyster mushroom (*Zea mays*-*Pleurotus ostreatus*) based composite flour and its storage stability. *Open Agriculture*, 5(1), 40–49. <https://doi.org/10.1515/opag-2020-0007>
- BANYTÉ, J., BRAZIONIENÉ, Lina., & GADEIKIENE, A. (2010). Investigation of Green Consumer Profile : a Case of Lithuanian Market of Eco-Friendly Food Products. *Economics and Management*, 15, 374–383.
- Bhat, N. A., Wani, I. A., Hamdani, A. M., & Gani, A. (2019). Effect of extrusion on the physicochemical and antioxidant properties of value added snacks from whole wheat ( *Triticum aestivum* L .) flour. *Food Chemistry*, 276(April 2018), 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.170>
- Bolarinwa, I. F., Aruna, T. E., & Raji, A. O. (2019). Nutritive value and acceptability of bread fortified with moringa seed powder. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(2), 195–200. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.05.002>
- Bora, P., Ragaei, S., & Abdel-Aal, E. S. M. (2019). Effect of incorporation of goji berry by-product on biochemical, physical and sensory properties of selected bakery products. *Lwt*, 112(January), 108225. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.123>
- Brewer, M. S. (2011). Natural Antioxidants: Sources, Compounds, Mechanisms of Action, and Potential Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10(4), 221–247. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00156.x>

- Carcea, M., Turfani, V., Narducci, V., Durazzo, A., Finamore, A., Roselli, M., & Rami, R. (2019). Bread for the aging population: The effect of a functional wheat-lentil bread on the immune function of aged mice. *Foods*, 8(10), 1–6. <https://doi.org/10.3390/foods8100510>
- Castro, L. A. De, Lizi, J. M., Galv, E., Carvalho, R. A. De, & Vanin, F. M. (2020). From Orange Juice By-Product in the Food Industry to a Functional Ingredient : Application in the Circular Economy. *Foods*, 9(593), 17. <https://doi.org/doi:10.3390/foods9050593>
- Chikpah, S. K., Korese, J. K., Hensel, O., & Sturm, B. (2020). Effect of sieve particle size and blend proportion on the quality properties of peeled and unpeeled orange fleshed sweet potato composite flours. *Foods*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/foods9060740>
- das Chagas, E. G. L., Vanin, F. M., dos Santos Garcia, V. A., Yoshida, C. M. P., & de Carvalho, R. A. (2021). Enrichment of antioxidants compounds in cookies produced with camu-camu (*Myrciaria dubia*) coproducts powders. *Lwt -Food Science and Technology*, 137, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110472>
- Das, P. C., Khan, M. J., Rahman, M. S., Majumder, S., & Islam, M. N. (2019). Comparison of the physico-chemical and functional properties of mango kernel flour with wheat flour and development of mango kernel flour based composite cakes. *NFS Journal*, 17(October), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2019.10.001>
- Dauda, A. O., Abiodun, O. A., Arise, A. K., & Oyeyinka, S. A. (2018). Nutritional and consumers acceptance of biscuit made from wheat flour fortified with partially defatted groundnut paste. *LWT - Food Science and Technology*, 90(September 2017), 265–269. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.039>
- de Almeida Biolchini, J. C., Mian, P. G., Natali, A. C. C., Conte, T. U., & Travassos, G. H. (2007). Scientific research ontology to support systematic review in software engineering. *Advanced Engineering Informatics*, 21(2), 133–151. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2006.11.006>
- Dhull, S. B., & Sandhu, K. S. (2018). Wheat-fenugreek composite flour noodles: Effect on functional, pasting, cooking and sensory properties. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 6(1), 174–182. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.6.1.20>
- Duguma, H. T., Forsido, S. F., Belachew, T., & Hensel, O. (2021). Changes in Anti-nutritional Factors and Functional Properties of Extruded Composite Flour. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.713701>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020a). Statistical Yearbook, World Food and Agriculture, 2020. Em *World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2020*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4060/cb1329en>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020b). Suite of Food Security Indicators. Em *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FS>
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP AND WHO. (2023). The State of Food Security and Nutrition in the World 2023. (2023). Em *The State of Food Security and Nutrition in the World 2023*. FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO; <https://doi.org/10.4060/cc3017en>
- Gbenga-Fabusiwa, F. J., Oladele, E. P., Oboh, G., Adefegha, S. A., Fabusiwa, O. F., Osho, P. O., Enikuomehin, A., & Oshodi, A. A. (2019). Glycemic Response in Diabetic Subjects to Biscuits Produced from Blends of Pigeon Pea and Wheat Flour. *Plant Foods for Human Nutrition*, 74(4), 553–559. <https://doi.org/10.1007/s11130-019-00758-2>
- Gbenga-Fabusiwa, F. J., Oladele, E. P., Oboh, G., Adefegha, S. A., & Oshodi, A. A. (2018). Nutritional properties, sensory qualities and glycemic response of biscuits produced from pigeon pea-wheat composite flour. *Journal of Food Biochemistry*, 42(4), 1–11. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12505>
- Getachew, M., & Admassu, H. (2020). Production of pasta from Moringa leaves \_ oat \_ wheat composite flour. *Cogent Food and Agriculture*, 6(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1724062>

- Gharibzahedi, S. M. T., & Jafari, S. M. (2017). The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. *Trends in Food Science and Technology*, 62, 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.017>
- Gil-Montoya, J. A., Ponce, G., Sánchez Lara, I., Barrios, R., Llodra, J. C., & Bravo, M. (2013). Association of the oral health impact profile with malnutrition risk in Spanish elders. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 57(3), 398–402. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2013.05.002>
- Gonzales-Barron, U., Dijkshoorn, R., Maloncy, M., Finimundy, T., Carocho, M., Ferreira, I. C. F. R., Barros, L., & Cadavez, V. (2020). Nutritional quality and staling of wheat bread partially replaced with Peruvian mesquite (*Prosopis pallida*) flour. *Food Research International*, 137(August), 109621. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109621>
- González, C. M., Garzón, R., & Rosell, C. M. (2019). Insects as ingredients for bakery goods. A comparison study of *H. illucens*, *A. domestica* and *T. molitor* flours. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 51(March 2018), 205–210. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.03.021>
- GRANATO, D., Nunes, D. S., & Barba, F. J. (2017). An integrated strategy between food chemistry, biology, nutrition, pharmacology, and statistics in the development of functional foods: A proposal. *Trends in Food Science and Technology*, 62(December 2016), 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.12.010>
- Guardado-Félix, D., Lazo-Vélez, M. A., Pérez-Carrillo, E., Panata-Saquicili, D. E., & Serna-Saldívar, S. O. (2020). Effect of partial replacement of wheat flour with sprouted chickpea flours with or without selenium on physicochemical, sensory, antioxidant and protein quality of yeast-leavened breads. *Lwt*, 129(109517), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109517>
- Guldiken, B., Yovchev, A., Nosworthy, M. G., Stone, A. K., House, J. D., Hood-Niefer, S., & Nickerson, M. T. (2020). Effect of extrusion conditions on the physical properties of desi chickpea-barley extrudates and quality attributes of their resulting flours. *Journal of Texture Studies*, 51(2), 300–307. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12470>
- Hamdani, A. M., Wani, I. A., & Bhat, N. A. (2020). Gluten free cookies from rice-chickpea composite flour using exudate gums from acacia, apricot and karaya. *Food Bioscience*, 35(100541), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100541>
- Harvard School of Public Health Department of Nutrition. (2005). The Healthy Eating Pyramid. *The Food Literacy Project*, 1–18. <https://www.hsph.harvard.edu/wp-content/uploads/sites/30/2012/10/healthy-eating-pyramid-huds-handouts.pdf>
- Hidayah, N., Hassan, A., Zulkifli, N. A., & Ho, L. H. (2019). Physical and sensory evaluation of muffin incorporated with rubber seed (*hevea brasiliensis*) flour, pumpkin (*Cucurbita moschata*) flour and cassava (*Manihot esculenta crantz*) flour. *Journal of Agrobiotechnology*, 10(101), 1–12. <https://journal.uniswa.edu.my/agrobiotechnology/index.php/agrobiotechnology/index%0APhysical>
- Igbua, F. Z., Adejo, S. O., Igoli, N. P., & Daagema, A. A. (2020). Antinutrients and Bioavailability of Nutrients in Maize, Cassava and Soybeans Composite Flour. *Asian Food Science Journal*, 16(2), 5–12. <https://doi.org/10.9734/afsj/2020/v16i230167>
- Indriani, S., Bin Ab Karim, M. S., Nalinanon, S., & Karnjanapratum, S. (2020). Quality characteristics of protein-enriched brown rice flour and cake affected by Bombay locust (*Patanga succincta* L.) powder fortification. *Lwt*, 119(108876), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108876>
- Jia, F., Ma, Z., & Hu, X. (2020). Controlling dough rheology and structural characteristics of chickpea-wheat composite flour-based noodles with different levels of *Artemisia sphaerocephala* Krasch. gum addition. *International Journal of Biological Macromolecules*, 150, 605–616. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.101>
- Kaur, P., Sharma, P., Kumar, V., Panghal, A., Kaur, J., & Gat, Y. (2019). Effect of addition of flaxseed flour on phytochemical, physicochemical, nutritional, and textural properties of cookies. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(4), 372–377. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.12.004>
- Kolawole, F. L., Akinwande, B. A., & Ade-Omowaye, B. I. O. (2020). Physicochemical properties of novel cookies produced from orange-fleshed sweet potato cookies enriched with sclerotium of edible



- mushroom (*Pleurotus tuberregium*). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(2), 174–178. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.09.001>
- Korcz, E., Kerényi, Z., & Varga, L. (2018). Dietary fibers, prebiotics, and exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria: Potential health benefits with special regard to cholesterol-lowering effects. *Food and Function*, 9(6), 3057–3068. <https://doi.org/10.1039/c8fo00118a>
- Leykun, T., Admasu, S., & Abera, S. (2020). Evaluation of the mineral content, phyto-chemicals profile and microbial quality of tef injera supplemented by fenugreek flour. *Journal of Food Science and Technology*, 57(7), 2480–2489. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04283-y>
- Maberly, G., Grummer-Strawn, L., Jefferds, M. E., Peña-Rosas, J. P., Serdula, M. K., Tyler, V. Q., Berry, R. J., Mulinare, J., Parvanta, I., & Aburto, N. J. (2008). *Trends in wheat-flour fortification with folic acid and iron - Worldwide, 2004 and 2007*. Morbidity and Mortality Weekly Report. <https://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm5701a4.htm>
- Mahloko, L. M., Silungwe, H., Mashau, M. E., & Kgatla, T. E. (2019). Bioactive compounds, antioxidant activity and physical characteristics of wheat-prickly pear and banana biscuits. *Heliyon*, 5(10), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02479>
- Matsuda, T. (2019). Rice flour: A promising food material for Nutrition and Global Health. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 65, S13–S17. <https://doi.org/10.3177/jnsv.65.S13>
- McLean, J. A., Karadas, F., Surai, P. F., McDevitt, R. M., & Speake, B. K. (2005). Lipid-soluble and water-soluble antioxidant activities of the avian intestinal mucosa at different sites along the intestinal tract. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 141(3), 366–372. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2005.04.009>
- Meenakumari, R., Ravichandran, C., & Vimalarani, M. (2023). Nutritional, sensory, and antioxidant characteristics of composite multigrain flour biscuits blended with sweet potato flour. *International Food Research Journal*, 30(1), 173–181. <https://doi.org/10.47836/ifrj.30.1.14>
- Meng, Y., Guan, X., Liu, X., & Zhang, H. (2019). The rheology and microstructure of composite wheat dough enriched with extruded mung bean flour. *LWT*, 109, 378–386. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.095>
- Mohammed Nour, A. A., Mohamed, A. R., Adiamo, O. Q., & Babiker, E. E. (2018). Changes in protein nutritional quality as affected by processing of millet supplemented with Moringa seed flour. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(3), 275–281. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.05.006>
- Monthe, O. C., Grosmaire, L., Nguimbou, R. M., Dahdouh, L., Ricci, J., Tran, T., & Ndjouenkeu, R. (2019). Rheological and textural properties of gluten-free doughs and breads based on fermented cassava, sweet potato and sorghum mixed flours. *Lwt*, 101(March 2018), 575–582. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.051>
- Moreira, N. C. F., Krausch-Hofmann, S., Matthys, C., Vereecken, C., Vanhauwaert, E., Declercq, A., Bekkering, G. E., & Duyck, J. (2016). Risk factors for malnutrition in older adults: A systematic review of the literature based on longitudinal data. *Advances in Nutrition*, 7(3), 507–522. <https://doi.org/10.3945/an.115.011254>
- Okoli, C., Duarte, T. por:David W. A., & Mattar, R. técnica e introdução:João. (2019). Guia Para Realizar uma Revisão Sistemática de Literatura. *EaD em Foco*, 9(1), 1–40. <https://doi.org/10.18264/eadf.v9i1.748>
- Olorunfemi, M. A., Awolu, O. O., & Enujiugha, V. N. (2021). Evaluation of the chemical, antinutritional and antioxidant properties of composite flour comprising native and modified acha (*digitaria exilis* stapf) flour supplemented with mango kernel seed and soy cake flours. *Food Science and Technology International*, 0(0), 10. <https://doi.org/10.1177/1082013221991256>
- Onyango, C., Luvitaa, S. K., Unbehend, G., & Haase, N. (2020). Nutrient composition, sensory attributes and starch digestibility of cassava porridge modified with hydrothermally-treated finger millet. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100021>

- Osimani, A., Milanović, V., Cardinali, F., Roncolini, A., Garofalo, C., Clementi, F., Pasquini, M., Mozzon, M., Foligni, R., Raffaelli, N., Zamporlini, F., & Aquilanti, L. (2018). Bread enriched with cricket powder (*Acheta domesticus*): A technological, microbiological and nutritional evaluation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 48, 150–163. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.007>
- Paucar-Menacho, L. M., Simpalo-López, W. D., Castillo-Martínez, W. E., Esquivel-Paredes, L. J., & Martínez-Villaluenga, C. (2022). Reformulating Bread Using Sprouted Pseudo-cereal Grains to Enhance Its Nutritional Value and Sensorial Attributes. *Foods*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/foods11111541>
- Pérez-Ramírez, I. F., Becerril-Ocampo, L. J., Reynoso-Camacho, R., Herrera, M. D., Guzmán-Maldonado, S. H., & Cruz-Bravo, R. K. (2018). Cookies elaborated with oat and common bean flours improved serum markers in diabetic rats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(3), 998–1007. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8548>
- Rathod, M. s, Patharkar, S. R., & Rathod, B. M. (2020). Standardization of beet root fortified Ragi biscuits. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(1), 1774–1777. <https://www.phytojournal.com/archives/2020/vol9issue1/PartAD/9-1-229-492.pdf>
- Rizzoli, R., Biver, E., Bonjour, J. P., Coxam, V., Goltzman, D., Kanis, J. A., Lappe, J., Rejnmark, L., Sahni, S., Weaver, C., Weiler, H., & Reginster, J. Y. (2018). Benefits and safety of dietary protein for bone health—an expert consensus paper endorsed by the European Society for Clinical and Economical Aspects of Osteoporosis, Osteoarthritis, and Musculoskeletal Diseases and by the International Osteoporosis Fou. *Osteoporosis International*, 29(9), 1933–1948. <https://doi.org/10.1007/s00198-018-4534-5>
- Saadat, S., Akhtar, S., Ismail, T., Sharif, M. K., Shabbir, U., Ahmad, N., & Ali, A. (2020). MULTILEGUME BAR PREPARED FROM EXTRUDED LEGUMES FLOUR TO ADDRESS PROTEIN ENERGY MALNUTRITION. *Ital. J. Food Sci*, 32, 167–180.
- Santos, Y. J. S., Facchinatto, W. M., Rochetti, A. L., Carvalho, R. A., Le Feunteun, S., Fukumasu, H., Morzel, M., Colnago, L. A., & Vanin, F. M. (2023). Systemic characterization of pupunha (*Bactris gasipaes*) flour with views of polyphenol content on cytotoxicity and protein in vitro digestion. *Food Chemistry*, 405. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134888>
- Seibel, W. (2006). “Composite flour”, *Future of flour: A Compendium of Flour Improvement* (L. Popper, W. Shafer, & W. Freund, Orgs.). Verlag Agri Media.
- Shittu, T. A., Raji, A. O., & Sanni, L. O. (2007). Bread from composite cassava-wheat flour: I. Effect of baking time and temperature on some physical properties of bread loaf. *Food Research International*, 40(2), 280–290. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.10.012>
- Signor, A., Bittarello, A. C., Fries, E. M., Boscolo, W. R., Bittencourt, F., & Feiden, A. (2017). Lisina em dietas para alevinos de carpa comum. *Boletim do Instituto de Pesca*, 43(3), 464–473. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n3p464>
- Sumardiono, S., Budiyo, Kusumayanti, H., Prakoso, N. I. A., Paundrianagari, F. P., & Cahyono, H. (2021). Influence of composite flour constituents and extrusion temperature in the production of analog rice. *Food Science and Nutrition*, 9(8), 4385–4393. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2411>
- Sumardiono, S., Pudjihastuti, I., Handayani, N. A., & Kusumayanti, H. (2018). The Quality of Analog Rice from Composite Flour: Modified Cassava Flour, Zea mays, Canavalia ensiformis and Dioscorea esculenta Using Hot Extrusion. *Advanced Science Letters*, 24(12), 9794–9796. <https://doi.org/10.1166/asl.2018.13143>
- Sun, K. N., Liao, A. M., Zhang, F., Thakur, K., Zhang, J. G., Huang, J. H., & Wei, Z. J. (2019). Microstructural, textural, sensory properties and quality of wheat-yam composite flour noodles. *Foods*, 8(10), 1–13. <https://doi.org/10.3390/foods8100519>
- Tumwine, G., Atukwase, A., Tumuhimbise, G. A., Tucungwirwe, F., & Linnemann, A. (2019a). Effect of skimmed milk and vegetable powders on shelf stability of millet-based composite flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(4), 2030–2036. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9482>

- Tumwine, G., Atukwase, A., Tumuhimbise, G. A., Tucungwirwe, F., & Linnemann, A. (2019b). Production of nutrient-enhanced millet-based composite flour using skimmed milk powder and vegetables. *Food Science and Nutrition*, 7(1), 22–34. <https://doi.org/10.1002/fsn3.777>
- Udomkun, P., Tirawattanawanich, C., Ilukor, J., Sridonpai, P., Njukwe, E., Nimbona, P., & Vanlauwe, B. (2019). Promoting the use of locally produced crops in making cereal-legume-based composite flours: An assessment of nutrient, antinutrient, mineral molar ratios, and aflatoxin content. *Food Chemistry*, 286(October 2018), 651–658. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.055>
- United Nations. (2020). *end hunger achieve food security and improved nutrition and promote sustainable agriculture*. Department of Economic and Social Affairs - Sustainable Development. <https://sdgs.un.org/goals/goal2>
- Wanjala, W. N., Mary, O., & Symon, M. (2020). Optimization of Protein Content and Dietary Fibre in a Composite Flour Blend Containing Rice (*Oryza sativa*), Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] and Bamboo (*Yushania alpine*) Shoots. *Food and Nutrition Sciences*, 11(08), 789–806. <https://doi.org/10.4236/fns.2020.118056>
- Young, V. R., & Pellett, P. L. (1994). Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition. *American Journal of Clinical Nutrition*, 59(5 SUPPL.). <https://doi.org/10.1093/ajcn/59.5.1203S>
- Zhang, H., Meng, Y., Liu, X., Guan, X., Huang, K., & Li, S. (2019). Effect of extruded mung bean flour on dough rheology and quality of Chinese noodles. *Cereal Chemistry*, 96(5), 836–846. <https://doi.org/10.1002/cche.10184>